

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

ФАКУЛЬТЕТ БІОМЕДИЧНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ

(повна назва інституту/факультету)

кафедра БІОМЕДИЧНОЇ КІБЕРНЕТИКИ

(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри БМК

Є.А. Настенко

(підпис)

(ініціали, прізвище)

“ ” 2019 р.

Дипломна робота

на здобуття ступеня бакалавра

З напрямку підготовки 6.050101 «Комп'ютерні науки»

зі спеціальності

(код і назва)

на тему: Інтелектуальний інтерфейс системи розрахунку оптимальних
індивідуальних стратегій

Виконав (-ла): студент (-ка) IV курсу, групи БС-52

(шифр групи)

ШАПОШНИК ОЛЬГА ГЕННАДІЇВНА

(прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

Керівник доцент каф. БМК, к.т.н. Павлов В.А.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Консультант з охорони праці доц. к. ОППЦБ, к.т.н. Демчук Г.В

(назва розділу)

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище, ініціали)

(підпис)

Рецензент ст. викладач каф. БМІ, Данілова В.А.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

(підпис)

Засвідчую, що у цій дипломній роботі
немає запозичень з праць інших авторів
без відповідних посилань.

Студентка

(підпис)

Київ – 2019 року

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

Інститут (факультет) БІОМЕДИЧНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ
(повна назва)

Кафедра БІОМЕДИЧНОЇ КІБЕРНЕТИКИ
(повна назва)

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Напрямок підготовки (програма професійного спрямування) -

6.050101 «Комп'ютерні науки» (Інформаційні технології в біології та медицині)

(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри БМК

Є.А. Настенко
(ініціали, прізвище)

« » 2019 р.

**ЗАВДАННЯ
на дипломну роботу студенту**

ШАПОШНИК ОЛЬГА ГЕННАДІЇВНА

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи **Інтелектуальний інтерфейс системи розрахунку
оптимальних індивідуальних стратегій**

керівник роботи **Павлов Володимир Анатолійович, к.т.н.**

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від « 27 » травня 2019 р. № 1404-с

2. Термін подання студентом роботи **11-12 червня 2019 року**

3. Вихідні дані до роботи **оптимізаційні моделі регресії хворих з АШК,
програмний продукт**

4. Зміст роботи **вступ, огляд предметної області, матеріали та методи,
проектування програмного додатку, реалізація програмного додатку,
охорона праці, економіка, загальні висновки, список використаних джерел**

5. Перелік ілюстративного матеріалу (із зазначенням плакатів, презентацій тощо)
**Схеми та рисунки по теоретичному матеріалу, блок-схема програмного
продукту та uml-діаграми, ілюстрації з інтерфейсом та функціоналом
програми, презентація для захисту дипломної роботи**

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорони праці	Демчук Г.В., доц., к.т.н.		

7. Дата видачі завдання 20 травня 2019 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Отримати завдання на ДР	20 травня 2019р.	
2	Проведення інструктажу з охорони праці	22 травня 2019р.	
3	Робота з літературою та Інтернет ресурсами	20-24 травня 2019р.	
4	Робота з теоретичною базою	20-25 травня 2019р.	
5	Розробка програмного продукту	21-27 травня 2019р	
6	Аналіз отриманих результатів по ДР	27-28 травня 2019р.	
7	Розділ ДР з «Безпеки життєдіяльності та охорони здоров'я»	29 травня 2019 р.	
8	Пройдення нормоконтролю по оформленню ДР	29 травня 2019р - 7 червня 2019р	
9	Предзахист ДР та допуск до захисту ДР	7-11 червня 2019р	
10	Подання ДР рецензенту. Отримання рецензії.	11-12 червня 2019р	
11	Подання в електронному вигляді ДР та анотації до неї на сайт кафедри.	11-12 червня 2019р	
12	Подання пакету документів по ДР до захисту в ЕК	12-15 червня 2019р.	
13	Захист ДР в ЕК	18-22 червня 2019р	

Студент

(підпис)

О.Г. Шапошник

(ініціали, прізвище)

Керівник роботи

(підпис)

В.А. Павлов

(ініціали, прізвище)

АНОТАЦІЯ

Загальний обсяг пояснювальної записки – 106 сторінок, кількість розділів 6, кількість рисунків - 28, кількість таблиць – 23, кількість використаних джерел – 50.

Метою дипломного проекту є розробка інтелектуального інтерфейсу, який дозволяє графічно представляти багатомірні функції оптимізації.

У роботі розглянуто загальні теоретичні відомості по задачам оптимізації, побудові інтелектуальних інтерфейсів, методам побудови прогнозуючих моделей. В результаті розроблено математичні моделі регресії та створено програмний продукт для їх якісного аналізу.

Основні результати роботи були опубліковані у наступних джерелах:

1. О. Г. Шапошник, В. А. Павлов, О. К. Носовець, О. Б. Давидько., А. І. Дяк. Змішано-цілочисельна задача оптимізації лікувальної стратегії./ В. А. Павлов, О. К. Носовець, О. Б. Давидько., А. І. Дяк., О. Г. Шапошник// Міжнародний науковий журнал "Інтернаука". — Київ — Україна — 2018. — №21— с. 42 - 49. (стаття)

2. О.Г. Шапошник, В.А. Павлов, О.К. Носовець, А.Б. Давидько, А.І. Дяк. Лінійні моделі оптимізації прогнозу стану пацієнта з нелінійними за початковими умовами параметрами./ В.А. Павлов, О.К. Носовець, А.Б. Давидько, О.Г. Шапошник, А.І. Дяк.// Індуктивне моделювання складних систем. Збірник наук. праць. К.: МННЦІТС, 2018. – Україна – Київ – Вип.10.- с. 82 – 91 (стаття)

Ключові слова: інтелектуальний інтерфейс, лінійна оптимізація, лікувальна стратегія, метод групового урахування аргументів, моделювання.

АННОТАЦИЯ

Общий объем пояснительной записки - 106 страниц, количество разделов 6, количество рисунков - 28, количество таблиц - 23, количество использованных источников - 50.

Целью дипломного проекта является разработка интеллектуального интерфейса, который позволяет графически представлять многомерные функции оптимизации.

В работе рассмотрены общие теоретические сведения по задачам оптимизации, построении интеллектуальных интерфейсов, методам построения прогнозирующих моделей. В результате разработаны математические модели регрессии и создан программный продукт для их анализа.

Основные результаты работы были опубликованы в следующих источниках:

1. О. Г. Шапошник, В. А. Павлов, Е. К. Носовец, А. Б. Давыдько., А.И. Дяк. Смешанно-целочисленная задача оптимизации лечебной стратегии. / В. А. Павлов, А. К. Носовец, А. Б. Давыдько., А. И. Дяк., О. Г. Шапошник // Международный научный журнал "Интернаука". - Киев - Украина - 2018. - №21- с. 42 - 49. (статья)

2. О.Г. Шапошник, В.А. Павлов, Е.К. Носовец, А.Б. Давыдько, А.И. Дяк. Линейные модели оптимизации прогноза состояния пациента с нелинейными по начальным условиям параметрами. / В.А. Павлов, О.К. Носовец, А.Б. Давыдько, А.Г. Шапошник, А.И. Дяк. // Индуктивное моделирование сложных систем. Сборник науч. трудов. К.: МННЦИТС, 2018. - Украина - Киев - Вип.10.- с. 82 - 91 (статья)

Ключевые слова: интеллектуальный интерфейс, линейная оптимизация, лечебная стратегия, метод группового учета аргументов, моделирование.

ABSTRACT

The total volume of the explanatory note is 106 pages, the number of sections 6, the number of drawings - 28, the number of tables - 23, the number of sources used - 50.

The purpose of the diploma project is to develop a smart interface that allows graphically represent multi-dimensional optimization functions.

The paper deals with general theoretical information on optimization problems, the construction of intellectual interfaces, methods for constructing forecasting models.

As a result, mathematical models of regression were developed and a software product was created for their qualitative analysis.

The main results of the work were published in the following sources:

1. O. Shaposhnyk, V. Pavlov, A.Nossovets, A. Davydko, A. Dyak. A mixed-integer task of optimizing a medical strategy. / VA Pavlov, O.K.Nossovets, O.B Davydko, A.I. Dyak., O. G. Shaposhnik // International scientific journal "Interna-science". - Kyiv - Ukraine - 2018. - No. 21- p. 42 - 49 (article)

2. O. Shaposhnyk, V. Pavlov, O. Nosovets, A. Davydko, AI Cantor. Linear models for optimizing the prediction of a patient with nonlinear parameters under initial conditions. / VA. Pavlov, O.K. Nosovets, AB Davydko, O.G. Shaposhnik, AI Dyak .// Inductive modeling of complex systems. Collection of sciences. works K .: MNNTSITS, 2018. - Ukraine - Kyiv - Vip.10.- p. 82 - 91 (article)

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ.....	9
ВСТУП	10
РОЗДІЛ 1 ОГЛЯД ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ	12
1.1. Опис проблеми з медичної точки зору	12
1.2. Інформаційні системи в медицині.....	13
1.3. Проблематика в інформаційних системах.....	14
1.4. Переваги інформаційних систем в медицині	17
1.5. Інтелектуальний інтерфейс	18
1.6. Системи з інтелектуальним інтерфейсом.....	19
Висновки до розділу 1	21
РОЗДІЛ 2 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ	22
2.1. Вибір мови програмування	22
2.2. NumPy.....	23
2.3. Методи візуалізації	23
2.4. PyQt.....	29
2.5. Лінійна оптимізація	31
2.6. Симплекс метод.....	33
2.7. Моделі регресії	34
2.8. МГУА	35
2.9. Математична постановка задачі	37
2.10. Опис клінічної бази пацієнтів.....	41
2.11. Статистичні моделі прогнозу.....	44
Висновки до розділу 2	47
РОЗДІЛ 3 ПРОЕКТУВАННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ.....	48

					БС.52.25.1300.1404С.ПЗ			
Вим	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробила	Шапошник О.Г				Інтелектуальний інтерфейс системи розрахунків оптимальних індивідуальних стратегій	Лім.	Лист	Листів
Перевірю	Павлов В.А.						7	106
Реценз.	Данілова В.А.					НТУУ "КПІ ім. Ігоря Сікорського" ФБМІ БС-52		
Н. Контр.	Кисляк С.В.							
Затвердив	Настенко Є.А.							

3.1. Контекстна діаграма IDEF0	48
3.2. Діаграма декомпозиції першого рівня IDEF0	49
3.3. Діаграма декомпозиції другого рівня IDEF0	49
3.4. Діаграма IDEF3	50
3.5. Дерево вузлів	51
3.6. Діаграма DFD	52
3.7. Use-case діаграма.....	53
3.8. Діаграма послідовності.....	54
3.9. Діаграма станів	55
3.10. Діаграма діяльності.....	56
3.11. Діаграма класів.....	57
Висновки до розділу 3	58
РОЗДІЛ 4 РЕАЛІЗАЦІЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ.....	59
4.1. Розробка інтелектуального інтерфейсу	59
4.2. Аналіз отриманих результатів	64
Висновки до розділу 4	70
РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ	71
5.1. Загальна характеристика приміщення	71
5.2. Оцінка потенційних небезпек і шкідливих виробничих факторів...	74
5.3. Мікроклімат	74
5.5. Хімічна безпека	76
5.6. Пожежна безпека.....	77
Висновки до розділу 5	79
РОЗДІЛ 6 ЕКОНОМІКА.....	80
6.1. Розрахунок трудомісткості програмного продукту	80
Висновки до розділу 6	81
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	82
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	83

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

АШК – аорто-коронарне шунтування

ІХС – ішемічна хвороба серця

ФВ – фракція викиду

ЛКА – ліва коронарна артерія

ІС – інформаційна система

МГУА – метод групового урахування аргументів

БД – база даних

					БС.52.25.1300.1404с.ПЗ	Лист
						9
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Після створення електронно-обчислювальних машин п'ятого та наступних поколінь, орієнтованих на користувачів, неспеціалізованих в програмуванні, вони перетворилися на пристрій масового використання, який потребує наявності спеціальних засобів, для полегшення роботи користувачу. Щоб реалізувати цю концепцію, було впроваджено створення інтелектуальних інтерфейсів, які забезпечують контакт користувача з електронно-обчислювальною машиною в умовах його професійної невідповідності. На сьогоднішній день в медицині все більше впроваджуються інформаційні системи та допоміжні застосунки для покращення і пришвидшення роботи з біомедичними даними. Важливим фактором є візуалізація з подальшим аналізом даних, причому ці методи можуть використовуватися в різних класах задач, одним з яких є задачі оптимізації. Вони дозволяють знайти оптимальне можливе рішення для певної проблеми, при цьому враховуючи різні види обмежень.

Задачі оптимізації здатні полегшати роботу лікарів та відкривають нові можливості. При достатньо великій клінічній базі даних пацієнтів, які мають певну хворобу, можна побудувати рівняння прогнозу стану пацієнта з моделлю критерія якості лікування, в залежності від початкових даних пацієнта. При надходженні нового хворого і підстановці його параметрів в оптимізаційні моделі, можна отримати результати, які дозволять лікарям найбільш ефективно побудувати стратегію лікування, при максимізації лікувального ефекту та мінімізації побічних дій лікування. Це позитивно вплине на якість надання медичної допомоги.

В даній роботі розглядається створення інтелектуального інтерфейсу, за допомогою якого можна візуально оцінити характер та властивості багатовимірних рівнянь оптимізації та підтвердити область значень, в якій доцільно вирішувати задачу оптимізації для конкретного пацієнта.

					БС.52.25.1300.1404с.ПЗ	Лист
						10
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Через це створення інтелектуального інтерфейсу для системи розрахунку оптимальних індивідуальних стратегій є актуальним для застосування в медичних закладах.

Дана робота має дослідницький характер, об'єктом дослідження є принципи створення інтелектуального інтерфейсу.

Предметом дослідження є моделі біологічних об'єктів стану, для яких відбувається оптимізація.

Мета роботи - розробка програмного продукту, який дозволяє графічно представляти багатомірні функції оптимізації.

Наукова новизна полягає у графічному аналізі та виборі обмежень для статистичних рівнянь прогнозу стану біологічних об'єктів в оптимізаційних моделях.

Задачі, що необхідно вирішити у роботі:

1. Розрахувати математичні моделі регресії, що дозволять спланувати оптимальну лікувальну стратегію для хворих, які перенесли АКШ.

2. Розробити інтелектуальний інтерфейс для візуалізації та аналізу багатомірних функцій.

3. Провести візуальний аналіз якісної адекватності моделей оптимізації для конкретних пацієнтів, використовуючи розроблений інтелектуальний інтерфейс.

4. Вирішити задачу оптимізації лікувальної стратегії для хворих з АШК.

Дипломна роботи складається з вступ, 6 розділів, висновків, списку використаних джерел та займає за обсягом 106 сторінок машинописного тексту, містить 28 рисунків, 23 таблиці та використано 50 джерел, 22 з яких на кирилиці, 28 – на латиниці.

РОЗДІЛ 1

ОГЛЯД ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ

1.1. Опис проблеми з медичної точки зору

ІХС називають захворювання, яке пов'язано з порушенням роботи серцевого м'яза. Це зумовлено тим, що порушується рівновага між кровообігом в коронарній артерії та метаболічними потребами міокарда, що може призвести до серйозних проблем.

Це захворювання є одним з найпоширеніших захворювань, і вона є однією з основних причин повної або часткової втрати працездатності та смертності в розвинутих країнах світу[1].

Одним з лікувань ішемічної хвороби серця є аорто-коронарне шунтування. Це операція яка дозволяє за допомогою створення обходу звуженого місця коронарної артерії за допомоги шунтів, відновити нормальний кровоток [2].

АШК належить до хірургічних методів лікування ішемічної хвороби серця, в основі якої лежить збільшення коронарного кровотоку (реваскуляризацію міокарда).

Для проведення цієї операції виділяються декілька станів:

- важка ступінь стенокардії;
- збереження скорочувальної функції міокарда лівого шлуночка більше 40%.
- прогностично несприятливий поразки коронарного русла - проксимальні гемодинамічно значущі поразки основних та лівих коронарних артерій, в яких звужування дісталася позначки 75% [3].

Основним фактором успіх після проведення АКШ операції вважається збереження скорочувальної функція [4].

					БС.52.25.1300.1404с.ПЗ	Лист
						12
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Під час аорто коронарного шунтування створюється обхідний шлях, по якому буде рухатися кров, минаючи уражені частини артерії. На сьогоднішній день існує два способи найрозповсюдженіших, що це забезпечують [5]:

- Маммарокоронарне шунтування – при якому основне навантаження йде на внутрішню грудину артерію, з неї створюють обхід на коронарне русло за допомогою анастомозіровання коронарної артерії з нижньої місця її звужування.

- Аортокоронарне шунтування – при якому «вільні» кондуїти закріплюють дальній кінець за допомогою анастомозіровання коронарної артерії з нижньої місця її звужування, а ближній кінець закріплюють з висхідною аортою.

Багато досліджень, які були направлені на підтвердження необхідності проведення операції, довели, що операція прямої реваскуляризації міокарда здатна збільшити тривалість життя, понизити ризик майбутніх інфарктів при порівнянні з неінвазивними (медикаментозними) методами лікування та дають значно кращий результат ніж останні [6, 7].

1.2. Інформаційні системи в медицині

ІС в медицині відноситься до системи, які призначені для управління даними в сфері охорони здоров'я. Вона включають в себе системи, які збирають, зберігають, редагують, керують і передають електронний медичний запис пацієнта, оперативне управління лікарні або систему, що підтримує рішення щодо політики охорони здоров'я. Вони також включають ті системи, які обробляють дані, пов'язані з діяльністю постачальників та організацій.

					БС.52.25.1300.1404с.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		13

Оскільки ІС зазвичай отримують доступ, обробляють чи підтримують великі обсяги конфіденційних даних, безпека в такі системах є головним завданням [8].

На кожному з етапів функціонування ІС роль користувачів, в даному випадку медичного персоналу, різна і варіюється від повного забезпечення роботи системи від початку роботи до кінця або необхідність втручання людини відбувається лише на проміжних етапах.

Структуру інформаційних систем можна поділити на ряд підсистеми, кожна з яких відповідає за свою сферу: інформаційне забезпечення, технічне забезпечення, математичне та програмне забезпечення, організаційне забезпечення [9].

1.3. Проблематика в інформаційних системах

Сьогодні залишається ряд старих і розповсюджених проблем залишається актуальними і, на жаль, невирішеними. Довгі дискусія між вибором кращого рішень і «цілісним» або «інтегрованим» підходи все ще дуже актуальні [10].

Продовжується збільшуватися кількість різних виготовлених спеціальних програми (доопераційні, респіраторна допомога, відомчий документ і т.д.), які пропонують хороші рішення для вирішування проблеми, але зробити їх глобальну інтеграцію в медичні заклади залишається проблематично. Більшість з них фактично розгортаються без прив'язання до конкретного програмного забезпечення та часто мають сильну відомчу підтримку та інвестиції. Це може ускладнити проблема інтеграції, якщо заклади є не готовий до взаємодії з єдиним сховищем даних, на якому буде реєструватися, зберігатися та редагуватися вся інформація, яка поступає, для забезпечення централізованості та універсальності для всіх закладів.

					БС.52.25.1300.1404с.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		14

Але ще один наслідок проблем – єдина реєстраційна система продовжується залишатися як і раніше не є загальнодоступною. Складність інформаційних систем у лікарнях і мережах охорони здоров'я все ще є висока, і користувачі зіштовхуються з різною функціональною наповненістю і нестандартизованим виглядом інтерфейсів для кожної системи. Поки пропонуються рішення, які могли б приховати ці відмінності під загальним інтерфейсом [11].

Створення відповідних механізмів введення даних, а також адекватності структур і представлення клінічних даних залишаються центральні питання, а також критична частина клінічних даних, необхідних для ефективного функціонування системи, продовжують залишатися не в цифровому вигляді, що залишається великою перепорою для подальшого розвитку інформаційних систем.

Інтеграція локальних медичних систем адміністрування лікарень з розробленими глобальними клінічними інформаційними системами досі залишається не розповсюдженою [13]. Доренфест прийшов до песимістичного погляду для США [15]. За його словами, масові інвестиції внаслідок цього впливають на такі фактори, за дослідженнями МОМ [17], інтегрована модель керованої медичної та медичної інформації мереж, не виконують своїх кінцевих цілей.

Тепер, запис до лікаря (системи РОЕ) є однією з провідних функціональних можливостей інформаційних систем для охорони здоров'я, в майбутній перспективі, що призведе до зниження витрат. Проте перше опитування систематичної вибірки з 1000 американських лікарень призвели до відносно низького використання комп'ютеризовані системи РОЕ [19]. Лише 32% лікарні повністю відповідають РОЕ або частково мають до неї доступ, і використовуються лікарями і відсоток введених замовлень системи РОЕ були низькими, особливо скорочення часу очікування не були настільки зниженні, як очікувалося.

					БС.52.25.1300.1404с.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		15

Експериментальні дослідження в японських лікарнях, де використовують системи для запису до лікарів показали, що один з основних наслідків лікарняних ІС було скорочення офісної роботи. Дослідження, проведене Kaiser Permanente організація технічного обслуговування на 1998 рік показав позитивне ставлення лікарів до звітування про свої результати, але лікарям приписують занадто високий пріоритет для звітування про результати, що становить неефективність використання робочого часу [21].

Також, ІС в сфері медицини страждають від відсутності фінансування. Очевидно, ІС в охороні здоров'я досі надзвичайно важко оцінити. Відповіді на дослідження HIMSS 2000 показують, що важко забезпечити кількісну оцінку вигоди і повернення інвестицій, і що інформаційні системи в медицині страждають від відсутності належної адекватної довгострокової фінансової підтримки.

Поки постачальники медичних послуг не приймають необхідність інформаційної системи до певної міри, вони не переконані в його стратегічному важливості.

Вже згадане японське дослідження Haruki et al. [23] виявили, що, загалом, вплив на поліпшення витрат і вигоди не відповідали очікуванням під час роботи лікарні. Для Європи Іаковідіс повідомив про те, що розповсюдження інформаційних систем в медицині страждає від браку належної фінансової підтримки.

Хоча більшість звітів зосереджуються на успішних проектах, присутній також ряд невдалих проектів [25, 27]. У статті Tonnesen et al. [29] повідомляють про проблеми з інформаційними системами в лікарнях почалися, коли була введена система ЕМІ.

Вони визначили організаційні проблеми, напрямку як: «Знайти час для навчання персоналу було дуже важким», «слабкі сторони системи збільшують навантаження на службову допомогу підтримки клієнтів, клінічні користувачі не скаржаться або скористуються довідковою

					БС.52.25.1300.1404с.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		16

службою». Хоча це єдиний звіт, виникає питання, чи є описані в ньому проблеми типовими. Iakovidis має описані подібні скарги користувачів стосовно повільний час відгуку, тривалий час логістичних процедур, а також неінтуїтивні дані [13].

Після десятиліть розвитку, досвіду, успіхів та невдач, залишається ймовірно зіткнення з тим, що інформаційні системи в сфері медицини та охорони здоров'я можуть мати як позитивний фактор полегшення, пришвидшення та покращення роботи закладу, так і негативний, який пов'язано з додатковим навчанням, нестандартизованими системами та недостатністю необхідної кількості наявності технологічного обладнання в медичних закладах.

1.4. Переваги інформаційних систем в медицині

ІС в медицині мають тенденцію до ефективності та управління даними. Основними чинниками інформаційних систем в медицині є наступні пункти.

Аналітика даних: медицина постійно виробляє дані. ІС в медицині допомагають збирати, збирати та аналізувати дані про здоров'я, щоб допомогти керувати здоров'ям населення та зменшити витрати на медицину. Потім аналіз даних охорони здоров'я може поліпшити догляд за пацієнтами та підвищити його якість [12].

Спільна допомога: доволі часто пацієнти потребують лікування від різних медичних працівників, не прив'язуючись до територіального розташування. ІС в медицині - такі, як обмін інформацією про здоров'я - дозволяють медичним установам отримувати доступ до загальних медичних записів. Це дає змогу лікарю не витрачати додатковий час для збору анамнезу, а одразу почати лікування, не прив'язуючись до попередніх місць

					БС.52.25.1300.1404с.ПЗ	Лист
						17
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

обстеження пацієнта, мати вільний доступ до всіх перенесених хвороб і методів лікування [14].

Контроль витрат: Використання цифрових мереж для обміну даними охорони здоров'я створює ефективність та економію коштів. Коли регіональні ринки використовують обмін інформацією про здоров'я для обміну даними, постачальники медичних послуг бачать знижені витрати. У менших масштабах лікарні прагнуть до такої ж ефективності, як електронні медичні записи [16].

Управління охороною здоров'я населення: ІС в медицині можуть об'єднувати дані пацієнтів, проаналізувати їх та визначити тенденції популяцій, основні патерни та зміни. Технологія також працює в зворотному напрямку. Клінічні системи підтримки прийняття рішень можуть використовувати великі дані, щоб допомогти діагностувати окремих пацієнтів і лікувати їх [18].

1.5. Інтелектуальний інтерфейс

У загальному випадку, під інтерфейсом розуміється набір різних методів та засобів, які здатні забезпечити взаємодію між окремими підсистемами однієї системи. Через інтерфейс задаються параметри, характеристики та процеси взаємодії елементів системи з користувачем та іншими додатками, до яких вони можуть бути інтегровані [20].

В області інформаційних технологій під терміном «інтерфейс», як правило, розуміється комплекс програмних і технічних засобів, через який відбувається взаємодія людини-оператора з обчислювальними засобами інформаційної системи в процесі її функціонування.

На основі наведеного визначення з урахуванням реалізованих в інтерфейсі функцій можна виділити наступні основні його види: інтерфейс

					БС.52.25.1300.1404с.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		18

передачі даних, програмний інтерфейс, апаратний інтерфейс і інтерфейс користувача [22, 24].

Інтерфейс передачі даних призначено для забезпечує взаємодію елементів інформаційної системи в процесі обміну інформацією один з одним.

Програмний інтерфейс - система уніфікованих зв'язків між компонентами програмного забезпечення, призначених для обміну даними між ними. Програмний інтерфейс визначає набір необхідних процедур, їх параметри і способи звернення.

Апаратний інтерфейс - пристрій для перетворення сигналів, які передаються від одного компонента комплексу технічних засобів до іншого компоненту.

Інтерфейс користувача (призначений для користувача інтерфейс) - елементи та компоненти програмного забезпечення інформаційної системи, які впливають на поведінку користувача в процесі взаємодії з програмними засобами.

Інтерфейс користувача повинен володіти рядом властивостей, які наділяють його можливістю самостійно адаптуватися до вимог конкретного користувача і змін умов функціонування програмного продукту, тобто володіти інтелектом [26].

1.6. Системи з інтелектуальним інтерфейсом

Інтелектуальні інформаційні системи поділяються на декілька видів, до яких входить і системи з інтелектуальним інтерфейсом (рисунку 1.1) [28].

За своєю функціональністю системи з інтелектуальним інтерфейсом можна поділити на декілька видів, кожен з яких виконує свою функцію та має ряд особливостей.

					БС.52.25.1300.1404с.ПЗ	Лист
						19
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 1.1. Види інтелектуальних інформаційних систем

За своєю функціональністю системи з інтелектуальним інтерфейсом ділять на декілька видів, кожен з яких виконує свою функцію.

Інтелектуальні бази даних. Використовуються переважно для знаходження інформації, яка записана в неявному вигляді в БД, робота з ними відбувається за допомогою природнього інтерфейсу.

Природній інтерфейс має допоміжну функцію в роботі з програмою, це може бути введення даних, запитів за допомогою голосових команд, автоматичний переклад мов та інше.

Гіпертекстові системи допомоги реалізують пошук за певними ключовими словами в великих базах текстової інформації.

Системи контекстної допомоги. Вони виступають в ролі виключення з природнього інтерфейсу та гіпертекстової системи. За їх допомогою

користувач описує проблему та через додатковий діалог з системою, вона надає рекомендації щодо усунення з'явившихся проблем.

Системи когнітивної графіки – це сукупність прийомів і методів образної презентації умов задачі, що дозволяє побачити її рішення чи отримати підказку для його знаходження [30].

При розробці програмного додатку, використовувалися системи когнітивної графіки та системи контекстної допомоги, бо вони відповідають поставленим цілям вирішувальної задачі.

Висновки до розділу 1

У першому розділі дипломної роботи було розглянуто основні передумови для створення інтелектуального інтерфейсу. Визначено основні передумови для роботи з клінічною базою пацієнтів та важливість роботи з серцево-судинними захворюваннями. Визначено проблематику в медичній сфері та актуальність впровадження інформаційних систем в медицину та в сферу охорони здоров'я. Розглянуто можливі їх варіанти, основні переваги та проблематика під час їх впровадження.

					БС.52.25.1300.1404с.ПЗ	Лист
						21
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

2.1. Вибір мови програмування

На сьогодні день виділяють від двох з половиною тисяч до десяти тисяч мов програмування. Кожна з них оптимальна для роботи з певним класом задач.

Python продовжує залишатися однією з самих популярних мов програмування для роботи зі статистичними даними. Це інтерпретована мова програмування, написана на С, яка інтуїтивно зрозуміла та проста в своєму використанні, хоча при цьому значно програє швидкості виконання алгоритмів.

Ця мова програмування може виконувати різні функції за допомогою додаткових налаштувань та підключення бібліотек, для вирішування складних математичних, графічних або інших задач, які можуть бути написані і на С. Також Python має відкритий код, тому кожен може вносити необхідні йому корективи до роботи алгоритмів, або без додаткових проблем розміщати нові бібліотеки на спільний доступ. Така модульність полегшує роботи з програмою.

Також однією з важливих переваг мови є те, що вона може працювати з будь-якою операційною системою, не вимагаючи додаткових налаштувань та не використовуючи багато пам'яті. Завдяки цьому забезпечується автономність розроблених програмних додатків та не прив'язаність до конкретного місця розробки.

Зважаючи на всі переваги, використовувати цю мову програмування буде доцільно в даній роботі.

					БС.52.25.1300.1404с.ПЗ	Лист
						22
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

2.2. NumPy

Бібліотека мови програмування Python NumPy (скорочення від Numerical Python - «числовий Python») призначена для забезпечення легкої роботи з даними, які знаходяться у буфері. За своєю роботою бібліотека схожа на вбудований тип даних мови Python list, але при цьому здатні забезпечити значно краще зберігання даних та виконання різних операцій з ними, при зростанні розмірності вхідних даних.

Математичні алгоритми, реалізовані на інтерпретованих мовах, таких як Python, часто працюють набагато повільніше тих же алгоритмів, реалізованих на компільованих мовах (наприклад, Фортран, С, Java). Бібліотека NumPy надає реалізації обчислювальних алгоритмів (у вигляді функцій і операторів), які були спеціально оптимізовані до багатовимірних масивів. В результаті всі алгоритми, які можна представити у вигляді послідовності операцій над масивами (матрицями) і реалізований з використанням NumPy, мають таку саме швидкість роботи, що і аналогічний код, що виконується в MATLAB [31].

2.3. Методи візуалізації

На сьогоднішній день Python має багато бібліотек для роботи з графіками та для візуалізації даних, такі як Seaborn, Bokeh, Basemap, Ggplot та інші, але рекомендованою залишається Matplotlib. Ця бібліотека легко взаємодіє з іншими бібліотеками для обробки даних Sigh Pie, Numerical Python і Interactive Python та за функціональністю подібна до MATLAB[32].

Пакет підтримує можливість його використання в всіх графічних інтерфейсах, не виключаючи wxWindows і PyGTK. Matplotlib надає можливість для побудови багатьох видів графіків, таких як: діаграми

					БС.52.25.1300.1404с.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		23

розсіювання, стовпчасті діаграми і гістограми, секторні діаграми, діаграми «Стовбур-листя», контурні графіки, поля градієнті, спектральні діаграми.

Також користувач сам налаштовує необхідний вид полотна відображення графіка та є можливість додати до нього легенду, координатну сітку, підпис осей, посилання, та також вибрати вид координат (логарифмічні, полярні). Він підтримує роботу не тільки з 2D графікою, але і з 3D, та забезпечує спеціальним набором інструментів для роботи з різними типами файлів [33].

Matplotlib Відбудеться з безлічі модулів. Модулі наповнені різними класами і функціями, які ієрархічно пов'язані між собою.

Від користувача потрібно управляти діями художника-matplotlib, визначаючи, що саме він повинен намалювати і якими інструментами. Зазвичай створення основи і процес безпосередньо відображення малюнка віддає повністю на відкуп matplotlib. Таким чином, користувач бібліотеки matplotlib виступає в ролі управлінця. І чим простіше йому управляти кінцевим результатом роботи matplotlib, тим краще.

Так як matplotlib організована ієрархічно, а найбільш простими для розуміння людиною є самі високорівневі функції, то знайомство з matplotlib починають з самого високорівневого інтерфейсу matplotlib.pyplot. Так, щоб намалювати гістограму за допомогою цього модуля, потрібно викликати всього одну команду: matplotlib.pyplot.hist (arr).

Користувачеві не потрібно думати як саме бібліотека намалювала цю діаграму. Якщо малювати гістограму самостійно, то помітили б, що вона складається з повторюючих за формою фігур - прямокутників. А щоб намалювати прямокутник, потрібно знати хоча б координату одного кута і ширину / довжину.

Цей приклад відображає ієрархічність малюнків, коли підсумкова діаграма (високий рівень) складається з простих геометричних фігур (нижчий, середній рівень), створених кількома універсальними методами

					БС.52.25.1300.1404с.ПЗ	Лист
						24
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

малювання (низький рівень). Якби кожен малюнок потрібно було б створювати ось так, з нуля, це було б дуже довго і виснажливо.

Інтерфейс `matplotlib.pyplot` є набором команд і функцій, які роблять синтаксис графічних `matplotlib` команд схожим на команди, які використовуються в середовищі MATLAB. Спочатку `matplotlib` планувався як вільна альтернатива MATLAB, де в одному середовищі були б кошти як для малювання, так і для чисельного аналізу. Саме так в `Matplotlib` з'явився `pylab`, який об'єднує модулі `pyplot` і `numpy` в один простір імен.

Мабуть, `pylab` виявився не дуже вдалою ідеєю. Є думка, що використання `pylab` - це поганий тон. Навчання за допомогою `pylab` може привести до неправильного розуміння роботи `matplotlib` за рахунок використання неявного імпортування. Так як у `pylab` немає істотних переваг, то далі будемо працювати тільки з `pyplot` або в об'єктно-орієнтованому стилі.

У той же час для більш серйозних завдань (впровадження `matplotlib` в призначену для користувача GUI) потрібно більше контролю над процесом і більше гнучкості, ніж можуть надати ці два модуля. Необхідний доступ до більш низькорівневим можливостям бібліотеки, яка реалізована в об'єктно-орієнтованому стилі. Об'єктно-орієнтована стиль помітно складніше для новачків і вимагає знань про роботу конкретних класів і їх методах, але надає найбільші можливості по взаємодії з бібліотекою `matplotlib`.

Головною одиницею (об'єктом найвищого рівня) при роботі з `matplotlib` є малюнок (`Figure`). Будь-який малюнок в `matplotlib` має вкладену структуру і чимось нагадує матрешку. Призначена для користувача робота має на увазі операції з різними рівнями цієї матрешки:

`Figure` (Малюнок) - `Axes` (Область малювання) - `Axis` (Координатна вісь)

Малюнок (`Figure`). Малюнок є об'єктом самого верхнього рівня, на якому розташовуються одна або кілька областей малювання (`Axes`), елементи малюнка `Artists` (заголовки, легенда і т.д.) і основа-полотно (`Canvas`). На

					БС.52.25.1300.1404с.ПЗ	Лист
						25
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

малюнку може бути кілька областей малювання Axes, але дана область малювання Axes може належати тільки одному малюнку Figure.

Область малювання (Axes). Область малювання є об'єктом середнього рівня, який є, напевно, головним об'єктом роботи з графікою matplotlib в об'єктно-орієнтованій стилі. Це те, що асоціюється зі словом "plot", це частина зображення з простором даних. Кожна область малювання Axes містить дві (або три в разі тривимірних даних) координатних осі (Axis об'єктів), які впорядковують відображення даних.

Координатна вісь (Axis). Координатна вісь є об'єктом середнього рівня, які визначають область зміни даних, на них наносяться поділу ticks і підписи до розподілам ticklabels. Розташування поділів визначається об'єктом Locator, а підписи поділок обробляє об'єкт Formatter. Конфігурація координатних осей полягає в комбінуванні різних властивостей об'єктів Locator і Formatter.

Елементи малюнка (Artists). Елементи малюнка Artists є як би червоною лінією для всіх ієрархічних рівнів. Практично все, що відображається на малюнку є елементом малюнка (Artist), навіть об'єкти Figure, Axes і Axis. Елементи малюнка Artists включають в себе такі прості об'єкти як текст (Text), плоска лінія (Line2D), фігура (Patch) та інші.

Коли відбувається відображення малюнка (figure rendering), всі елементи малюнка Artists наносяться на основу-полотно (Canvas). Велика частина з них пов'язується з областю малювання Axes. Також елемент малюнка не може спільно використовуватися декількома областями Axes або бути переміщений з одного на інший.

У matplotlib образотворчі функції логічно розділені між декількома об'єктами, причому кожен з них сам має досить складну структуру. Можна виділити три рівні інтерфейсу прикладного програмування (matplotlib API):

matplotlib.backend_bases.FigureCanvas - абстрактний базовий клас, який дозволяє малювати і візуалізувати результати команд.

					БС.52.25.1300.1404с.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		26

`matplotlib.backend_bases.Renderer` - об'єкт (абстрактний клас), який знає як малювати на `FigureCanvas`;

`matplotlib.artist.Artist` - об'єкт, який знає, як використовувати визуализатор (`renderer`), щоб малювати на полотні (`canvas`).

`FigureCanvas` і `Renderer` обробляють деталі, необхідні для взаємодії із засобами призначеного для користувача інтерфейсу, так як це робить `WxPython` або мову малювання `PostScript`. А `Artist` обробляє всі конструкції високого рівня такі як уявлення і розташування малюнка, тексту і ліній.

Існує два типи об'єктів-класів `Artists`: примітиви (`primitives`); контейнери (`containers`).

Примітиви є стандартні графічні об'єкти: плоску лінію (`Line2D`), прямокутник (`Rectangle`), текст (`Text`), зображення (`AxesImage`) і т.д. А контейнери - це об'єкти-сховища, на які можна наносити графічні примітиви. До контейнерів відносяться малюнок (`Figure`), область малювання (`Axes`), координатна вісь (`Axis`), ділення (`Ticks`). Розглянемо контейнери докладніше, так як саме за допомогою звернень до різних контейнерів класу `Artists`, об'єднаних логічно в єдину структуру, буде здійснюватися настройка малюнків в `matplotlib`.

`Axes` - дуже важливий контейнер, так як саме з ним найчастіше працює користувач. Примірники `Axes` - це області, розташовані в контейнері `Figure`, для яких можна задавати координатну систему (декартова або полярна). На ньому розташовуються всі інші контейнери, крім `Figure`, і графічні примітиви. Це області на малюнку, на яких розташовуються графіки та діаграми, в які вставляються зображення і т.д. Мультиоконные малюнки складаються з набору областей `Axes`.

Контейнери осей (`Axis containers`). `Axis` схожий на `Axes` за назвою, але не варто їх плутати. Цей контейнер обслуговує екземпляри `Axes`. Він відповідає за створення координатних осей, на які будуть наноситися поділу осей, підписи поділок і ліній допоміжної сітки. Його спеціалізація (і відміну

					БС.52.25.1300.1404с.ПЗ	Лист
						27
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

від контейнера Tick) - це розташування поділок і ліній, їх позиціонування та форматування підписів ділень, їх відображення.

Контейнери поділів (Tick containers). Контейнер нижчого рівня. Його спеціалізація (і відміну від контейнера Axis) - задавати характеристики (колір, товщина ліній) ліній сітки, поділів і їх підписів (розміри і типи шрифтів).

При створенні малюнка в matplotlib зазвичай надходять так: створюють екземпляр класу Figure (Figure instance), на якому виділяють одну або кількох областей Axes (або примірників Subplot), і використовують допоміжні методи екземпляра класу Axes (Axes instance) для створення графічних примітивів (primitives) . Якщо автоматично підібрані характеристики координатної сітки, поділів і їх підписів не влаштовують користувача, то вони налаштовуються за допомогою примірників контейнерів Axis і Tick, які завжди присутні на створеній області малювання Axes.

Малюнки в matplotlib створюються шляхом послідовного виклику команд: або в інтерактивному режимі (в консолі), або в скрипті (текстовий файл з python-кодом). Графічні елементи (точки, лінії, фігури і т.д.) нашаровуються одна на іншу послідовно. При цьому наступні перекривають попередні, якщо вони займають загальне ділянки на малюнку (регулюється параметром zorder).

У matplotlib працює правило "поточної області" ("current axes"), яке означає, що всі графічні елементи наносяться на поточну область малювання. Незважаючи на те, що областей малювання може бути кілька, одні з них завжди є поточної.

Як було сказано вище найголовнішим об'єктом в matplotlib є малюнок Figure. Тому створення наукової графіки потрібно починати саме з створення малюнка. Створити малюнок в matplotlib означає поставити форму, розміри і властивості основи-полотна (canvas), на якому буде створюватися майбутній графік.

					БС.52.25.1300.1404с.ПЗ	Лист
						28
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

2.4. PyQt

PyQt - це набір прив'язок Python 2 і 3 для інфраструктури додатків Qt компанії Qt. Він працює на всіх платформах, підтримуваних Qt, включаючи Windows, OS X, Linux, iOS і Android.

PyQt об'єднує кроссплатформенну середу додатків Qt C++ і багатоплатформовий інтерпретована мова Python. Qt - включає в себе абстракції мережесокетів, потоків, Unicode, регулярних виразів, баз даних SQL, SVG, OpenGL, XML, повнофункціональний веб-браузер, довідкову систему, мультимедійну середу, а також багату колекцію графічних віджетів.

Класи Qt використовують механізм сигнал/слот для зв'язку між об'єктами, який є безпечним за типом, але слабо пов'язаних, що полегшує створення програмних компонентів багаторазового використання.

Qt також включає Qt Designer, дизайнер графічного призначеного для користувача інтерфейсу. PyQt може генерувати код Python з Qt Designer. Також можливо додати нові елементи управління GUI, написані на Python, в Qt Designer [34].

API PyQt містить понад 400 класів. У вершині ієрархії класів знаходиться клас QObject. Це базовий клас всіх об'єктів Qt. Крім того, клас QPaintDevice є базовим класом для всіх об'єктів, для всіх графічних об'єктів Qt.

Клас QApplication керує основними налаштуваннями і керує потоком програми GUI. Він містить основний цикл подій, усередині якого обробляються та розсилаються події, що генеруються елементами вікна та іншими джерелами. Він також обробляє загальносистемні та загальноприйняті налаштування.

Клас QWidget, отриманий з класів QObject і QPaintDevice, є базовим класом для всіх об'єктів інтерфейсу користувача. Класи QDialog і QFrame

					БС.52.25.1300.1404с.ПЗ	Лист
						29
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

також виводяться з класу QWidget. Вони мають власну систему підкласу, зображені на наступному малюнку:

На відміну від консольного режиму, який виконується послідовно, додаток на основі графічного інтерфейсу є керованим подією. Функції або методи виконуються у відповідь на дії користувача, такі як натискання кнопки, вибір елемента з колекції або клацання миші тощо, що називається подіями .

Віджети, які використовуються для побудови інтерфейсу графічного інтерфейсу, слугують джерелом таких подій. Кожен віджет PyQt, який виводиться з класу QObject, призначений для випромінювання "сигналу " у відповідь на одне або більше подій. Сигнал сам по собі не виконує жодних дій. Замість цього вона "підключена" до " слота ". Слот може бути будь-якою функцією Python, що викликається .

У PyQt з'єднання між сигналом і слотом може бути досягнуто різними способами. Найбільш часто використовувані методи - QtCore.QObject.connect (widget, QtCore.SIGNAL('signalname'), slot_function).

Більш зручний спосіб викликати slot_function, коли сигнал випромінюється віджетом, є наступним - widget.signal.connect (slot_function).

Типовий додаток графічного інтерфейсу може мати кілька вікон. Вкладки з вкладками та стеки дозволяють одночасно активувати одне з таких вікон. Однак багато разів цей підхід не може бути корисним, оскільки перегляд інших вікон приховано.

Один із способів одночасного відображення декількох вікон - це створення їх як незалежних вікон. Це називається SDI (єдиний інтерфейс документа). Для цього потрібно більше ресурсів пам'яті, оскільки кожне вікно може мати власну систему меню, панель інструментів тощо.

Програми MDI (Multiple Document Interface) використовують менші ресурси пам'яті. Підвікові вікна закладаються всередину головного

					БС.52.25.1300.1404с.ПЗ	Лист
						30
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

контейнера по відношенню один до одного. Віджет контейнера називається QMdiArea .

Віджет QMdiArea зазвичай займає центральний віджет об'єкта QMainWindow. Дочірні вікна в цій області - це екземпляри класу QMdiSubWindow. Можна встановити будь-який QWidget як внутрішній віджет об'єкта subWindow. Під-вікна в області MDI можуть бути розташовані каскадно або мозаїчно.

Усі класи QWidget в PyQt підкласуються з класу QPaintDevice. QPaintDevice це абстракція двовимірного простору, що можна зробити при використанні QPainter. Розміри фарбувального пристрою вимірюються в пікселях, починаючи з верхнього лівого кута, також клас відповідає за розташування всіх віджетів, за його допомогою можна компонувати різні деталі на одному холсті.

Клас QPainter виконує малюнок низького рівня на віджети та інші розфарбовані пристрої, такі як принтер. Як правило, вона використовується у події фарби віджету. QPaintEvent відбувається всякий раз, коли зовнішній вигляд віджету оновлюється.

2.5. Лінійна оптимізація

Перш ніж проводити оптимізацію, базову модель необхідно перевірити, щоб забезпечити надійність результатів для різних виконаних аналізів. Це означає, що модель повинна відповідати нормальним значенням в межах визначених меж пошуку рішення. У випадку коли моделі безпосередньо представляють собою аналітичну формулювання, це відносно просто, тому що це передбачає перевірку конкретних результатів моделі, що використовуються як параметри для оцінки цільової функції та можливих обмежень.

					БС.52.25.1300.1404с.ПЗ	Лист
						31
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Однак, коли для оцінки цільової функції використовується імітаційна модель, це потребує комбінованого підходу моделювання-оптимізації [35, 36]. Це трохи складніше, оскільки включає перевірку результатів моделі для всіх комбінацій змінних рішень. Методи метамодельювання [37], тобто моделювання результатів імітаційної моделі в якості функцій моделюючих входів, можуть обійти отримання результатів моделювання для всіх змінних у просторі параметрів.

Лінійна оптимізація використовується для досягнення найкращого виходу (мінімізації або максимізації результатів) у математичних моделях, які представлені через лінійні відношення.

Формально це представлення лінійної цільової функції в просторі в формі багатогранника, обмеженого лінійними нерівностями, під час обходу його вершин розраховується новий базис функцій та зупиняється на точці, яка дає шукане найбільше або найменше значення [38].

Математично це можна записати наступним чином:

$$\sum_{j=1}^n c_j x_j \rightarrow \min$$

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \leq b_i, i = 1, \dots, m_1$$

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j = b_i, i = m_1 + 1, \dots, m$$

$$x_j \geq 0, j = 1, \dots, n_1$$

Де, x – змінні параметри функції,

C – коефіцієнти при змінних функції,

a – коефіцієнти при змінних в обмеженнях,

b – коефіцієнти в правій частині обмежень.

					БС.52.25.1300.1404с.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		32

2.6. Симплекс метод

Для вирішення оптимізаційної задачі за допомогою лінійного програмування використовується симплекс-метод, який має самий прийнятний час роботи, порівняно з усіх алгоритмами.

Основна ідея симплекс-методу полягає у переході від одного плану до іншого, при цьому значення цільової функції має бути не гірше за попередній варіант, воно має збільшуватися (при вирішуванні задачі максимізації), або зменшуватися (при вирішенні задачі мінімізації). Алгоритм вирішення складається з однотипних дій, ітераційне виконання яких призводить до знаходження оптимального результату, або твердженню, що такого не існує [39].

Для початку роботи, необхідно зробити деякі перетворення в математичному записі задачі лінійного програмування. Запишемо систему нерівностей в векторному вигляді:

$$x_1 A_1 + x_2 A_2 + x_3 A_3 + \dots + x_m A_m + x_{m+1} A_{m+1} + \dots + x_n A_n = A_0$$

Тобто, маємо одиничну матрицю в m -вимірному просторі, яка буде в подальшому слугувати базисом. Якщо прирівняти всі вільні змінні до нуля, то отримаємо можливий розв'язок системи обмежень і тоді отримаємо відповідний розклад початкового плану:

$$X_0 = (x_1 = b_1, x_2 = b_2, \dots, x_m = b_m, x_{m+1} = 0, \dots, x_n = 0)$$

$$x_1 A_1 + x_2 A_2 + \dots + x_n A_n = A_0$$

Для переходу на наступний план зі знайденого початкового відбувається перебір сусідніх кутових точок. Так як опорний план є базисом

					БС.52.25.1300.1404с.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		33

m-вимірному простору, от вектори співвідношень можуть бути розкладені за ним тільки єдиним способом:

$$A_j = \sum_{i=1}^m x_{ij} A_i, j = 1, 2, \dots, n$$

$$x_{1,m+1} A_1 + x_{2,m+1} A_2 + \dots + x_{m,m+1} A_m = A_{m+1}$$

Введемо деяку невід'ємну величину Θ , таку, що помноживши на неї дві нерівності, отримаємо наступну рівність та відповідний їй вектор:

$$(x_1 - \Theta x_{1,m+1}) A_1 + (x_2 - \Theta x_{2,m+1}) A_2 + \dots + (x_m - \Theta x_{m,m+1}) A_m = A_0$$

$$X_1 = (x_1 - \Theta x_{1,m+1}; x_2 - \Theta x_{2,m+1}; x_m - \Theta x_{m,m+1}; 0, \dots, 0)$$

Тепер для знаходження нового опорного плану необхідно розглядати інші члени без Θ , які б давали додатній результат при їх різниці.

Отже весь процес перебору симплекс таблиці полягає у знаходженні векторів, які можна включити в базис та який можна вилучити з нього, при цьому покращити значення критеріальної функції.

2.7. Моделі регресії

Під час виконання роботи, моделі будувалися за допомогою регресійного аналізу.

Регресійний аналіз – один зі статистичних методів досліджень, який досліджує вплив незалежних змінних на критеріальну зміну (залежну). В даній задачі використовувалася лінійний вид регресії, та кінцевим результатом аналізу були лінійні функції [40, 41].

					БС.52.25.1300.1404с.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		34

Та перед використанням регресійного аналізу, треба провести ряд додаткових перевірок даних для знаходження наявності причинно-наслідкового зв'язку, бо отримані моделі регресію відображають тільки математичну залежність між змінними.

2.8. МГУА

Метод групового урахування аргументів надає вибір оптимальних моделей регресії з наявних. Як правило, зв'язок між змінними вводу-виводу може бути апроксимована функціоналом Вольтерра, дискретним аналогом якого є многочлен Колмогорова-Габора:

$$y = a_0 + \sum_{i=1}^m a_i x_i + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m a_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^m a_{ijk} x_i x_j x_k \dots$$

Де, x - вектор вхідних змінних,

a – вектор параметрів.

Поліном Колмогорова-Габора може апроксимувати будь-яку стаціонарну випадкову послідовність спостереження і можуть бути розраховані або адаптивними методами, або системою нормального рівняння Гаусса [42]. Однак в реальних системах виникають складності в методах ідентифікації.

У більшості випадків вектор незалежних змінних є довгим і неповним, а безліч спостережень мало. Крім того, час обчислень для вирішення всіх необхідних нормальних рівнянь збільшується, оскільки вхідний вектор стає ширше.

Метод групового урахування аргументів, слідуючи евристиці, використовує заміну полінома Колмогорова-Габора, використовуючи

низький порядок поліноми для кожної пари вхідних змінних, наступного вигляду:

$$y = a_0 + a_1x_i + a_2x_j + a_3x_ix_j + a_4x_i^2 + a_5x_j^2$$

Таким чином поліном другого порядку можна відновити повністю за допомогою ітераційної процедури типу персептрона. Цей підхід пропонує кращу точність завдяки такому підходу, який дозволяє класифікувати інформацію на «корисну» і «шкідливу», вимагає менше спостережень і тому зменшує час розрахунку.

МГУА відноситься до категорії евристичних методів самоорганізації, де застосовується концепція чорного ящика, концепція коннекціонізма і індукції [43]. Самоорганізація необхідна, коли неможливо відстежити весь процес вхідних-вихідних відносин через всю систему, яка занадто складна.

Під час процедури моделювання, евристичний алгоритм МГУА складеться з чотирьох етапів, які представляють основні особливості теорії МГУА [44]:

- Зібрати набір спостережень, які можуть мати відношення до об'єкта.
- Розділити спостереження на дві групи. Перша буде використовуватися для можливості оцінити коефіцієнти отриманих моделей, в той час як друга необхідна для відокремити інформації на «корисну» та «шкідливу» [45].
- Створити набір елементарних функцій, де складність буде збільшуватися за рахунок ітеративної процедури розрахунку різних можливих моделей.
- Відповідно до теореми Геделя про неповноту, застосовується зовнішній критерій, для того щоб обрати оптимальну модель.

Алгоритми МГУА були в першу чергу розроблений на основі численних обчислювальних експериментів і по аналогії з обґрунтуванням методом статистичних випробувань Монте-Карло, при яких багаторазові повторення експериментального результату складають його доказ. Також через відсутність задовільного математичного обґрунтування відповідно до моделі, відмінної від статистичних припущень, теорія методів групового урахування аргументів була розроблена як поділ регресійного аналізу на ранніх етапах. Широкий розвиток теорії МГУА призвело до широкого спектру алгоритмів з кожним з яких, відповідає деяким конкретним умовам конкретного застосування.

2.9. Математична постановка задачі

Перед вирішенням задачі оптимізації сформуємо об'єкт в лінійну систему першого порядку, у вигляду:

$$\dot{\bar{x}} = A'x,$$

$$A' = \begin{pmatrix} a'_{11} & a'_{12} & \dots & a'_{1m} \\ a'_{21} & a'_{22} & \dots & a'_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a'_{m1} & a'_{m2} & \dots & a'_{mm} \end{pmatrix}$$

Де, x – вектор стану об'єкта,

A' – матриця параметрів.

Враховуючи до уваги, що матрицю можна подати на будь-якому етапі виконання роботи, то зобразимо її на k -тому кроці:

$$x_{k+1} = Ax_k$$

$$A = \begin{pmatrix} A_1 \\ A_2 \\ \dots \\ A_m \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1m} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mm} \end{pmatrix}$$

При умові, що буде відомо всі значення змінних стану X на кожному з кроках при виконанні умови $(n+1) > m$, то надавши їй вигляд матриці векторів входів та виходів, і в подальшому використовуючи її для знаходження найкращих значень параметрів \hat{a} , отримаємо наступні види матриці:

$$X_k = (X_{1k} X_{2k} \dots X_{mk}) = \begin{pmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1m} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{n1} & x_{n2} & \dots & x_{nm} \end{pmatrix}$$

$$X_{k+1} = (X_{1(k+1)} X_{2(k+1)} \dots X_{m(k+1)}) = \begin{pmatrix} x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2m} \\ x_{31} & x_{32} & \dots & x_{3m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{(n+1)1} & x_{(n+1)2} & \dots & x_{(n+1)m} \end{pmatrix}$$

$$\hat{A} = \begin{pmatrix} \hat{A}_1 \\ \hat{A}_2 \\ \dots \\ \hat{A}_m \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \hat{a}_{11} & \hat{a}_{12} & \dots & \hat{a}_{1m} \\ \hat{a}_{21} & \hat{a}_{22} & \dots & \hat{a}_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \hat{a}_{m1} & \hat{a}_{m2} & \dots & \hat{a}_{mm} \end{pmatrix}$$

$$\hat{A}_j = (X_k^T X_k)^{-1} X_k^T X_{j(k+1)}$$

Тому, враховавши можливу наявність похибки, можемо представити оптимізаційну задачу у вигляді векторної авторегресії першого порядку, та маючи змогу вичленити зі складу вектора X_t , до складу якого входять, керуючі змінні U_t та критеріальна змінна I_t отримаємо наступний вигляд перетворення рівнянь[46]:

$$X_{t+1} = c_0 + aX_t + \varepsilon_t$$

$$X_{t+1} = c_0 + aX_t + \varepsilon U_t + \varepsilon_t$$

$$I_{t+1} = c'_0 + c''I_t + a'X_t + \varepsilon'U_t + \varepsilon_t$$

Отже, тепер можемо оперувати значенням критеріальної змінної завдяки наявним управління. Для цього сформуємо задачу у вигляді наступної матриці:

$$X = /X^b / I^b / U / X^e / I^e /$$

Де, X^b – підматриця змінних стану об'єкта,

I^b – початкове значення критеріальної змінної,

U – підматриця застосованих управлінь стосовно об'єкта

X^e – значення змінних кінцевого стану об'єкта після застосування управлінь.

I^e – досягнуте значення критеріальної змінної.

На основі цього сформуємо функціонал та обмеження для задачі, враховуючи те, що в даному випадку вирішується саме задачі лінійного програмування. При цьому необхідно забезпечити тільки лінійність управлінь під протекцією, всі інші компоненти можуть входити до складу моделей нелінійно у вигляді функцій, виду:

$$x^e = f(I^b, x^b) + a_u \cdot u + a_0, I^b = f'(I^b, x^b) + c_u \cdot u + c_0$$

Використовуючи навіть нелінійні компоненти на етапі моделювання, під час розрахунків вони згорнуть в лінійні системи, бо всі вхідні параметри стануть константами після підстановки конкретного об'єкта в систему. Тоді задачу оптимізації можна представити наступною системою:

					БС.52.25.1300.1404с.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		39

$$\begin{cases} \min_u I = \min_u f'(I^b, x^b) + c_u \cdot u + c \\ x^e_1 = f_1(I^b, x^b) + a_1 \cdot u + a_{01} \\ \dots\dots\dots \\ x^e_m = f_m(I^b, x^b) + a_m \cdot u + a_{0m} \\ f^*(I^b, x^b) + b_x^e x^e + b_u \cdot u + b_0 \leq 0 \end{cases}$$

Для розрахунку оптимальної задачі може використовуватися матриця однорідних об'єктів, і моделювання проходитиме для різних об'єктів, а не для одного і того в різні часові проміжки. Такі матриця описують замість переходу одного об'єкту з попереднього в наступний стан, а здатні описати загальний перехід із якогось початкового стану в кінцевий стан для різних об'єктів. В такому випадку вхідну матрицю необхідно розширити параметричними властивостями об'єкта, які не будуть змінюватися після керувань, але значення яких є важливе для побудови моделей. Отримаємо наступне розбиття вхідної матриці:

$$X = / X^p / X^b / I^b / X^e / I^e / U /$$

Де, X^p – підматриця, яка містить характеристики параметрів для певного об'єкта.

Враховуючи це, внесемо зміни до постановки задачі лінійного програмування:

$$x^e = f(I^b, x^b, x^p) + a_u \cdot u + a_0, \quad I^b = f'(I^b, x^b, x^p) + c_u \cdot u + c_0$$

Таким чином задача оптимізації приймає наступний вигляд, При цьому кардинальних змін не відбувається, лише додається новий параметр в нелінійну частину функції.:

$$\begin{cases} \min_u I = \min_u f'(I^b, x^b) + c_u \cdot u + c \\ x^e_1 = f_1(I^b, x^b) + a_1 \cdot u + a_{01} \\ \dots\dots\dots \\ x^e_m = f_m(I^b, x^b) + a_m \cdot u + a_{0m} \\ f^*(I^b, x^b) + b_x^e x^e + b_u \cdot u + b_0 \leq 0 \end{cases}$$

При цьому кардинальних змін в формулах не відбувається, лише додається новий параметр в нелінійну частину функції. Так само, підставивши конкретний об'єкт з його вхідними даними і параметрами, налаштовуємо систему під нього і в подальшому можемо шукати оптимальне рішення, розраховуючи керуючі змінні. Задача не виходить за межі лінійного програмування.

Ці задачі мають велике прикладне застосування, бо при моделюванні біологічного об'єкту є змога не тільки індивідуального налаштування лікування для об'єктів, а і додатково є можливість математичного представлення процесу клінічних випробувань, для його можливої оптимізації.

2.10. Опис клінічної бази пацієнтів

В якості прикладу для оптимізації лікувальної стратегії було обрано базу даних пацієнтів у період після проведення операції аортокоронарного шунтування. База налічує 271 атрибут та 129 записів, кожна з яких відповідає окремому пацієнтові. З них було відібрано 14 атрибутів, які мають значимий коефіцієнт кореляції з критеріальною змінною «Тривалість життя» (x_{18}) (додаток А). Для кількісних даних було використано коефіцієнт кореляції Пірсона, для порядкових змінних – кореляція Спірмана. Коефіцієнти наведено в таблицях 2.1 та 2.2.

					БС.52.25.1300.1404с.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		41

Таблиця 2.1

Коефіцієнти кореляції Пірсона для значимих кількісних змінних

Атрибут	Коефіцієнт	Значимість
Вік	0,274	0,002
Час спостереження	0,793	0,000
КСО	-0,311	0,000
ККР	-0,387	0,000
ККА	-,069	0,439
ВЖТМ	0,191	0,030
Лактат	-0,182	0,040
ІОЛС	-0,276	0,002
К-ть шунтів	-0,045	0,614
САТ(1)	0,157	0,075
SvO2(1)	0,132	0,135
КУО2(1)	-0,151	0,088
Час прийому	-0,009	0,920
Препарат А	-0,087	0,324
Препарат Б	-0,251	0,004
Препарат В	0,275	0,002

Таблиця 2.2

Коефіцієнти кореляції Спірмена для значимих порядкових змінних

Атрибут	Коефіцієнт	Значимість
НУНА	-0,393	0,000

Опис кожного відібраного атрибуту, наведено далі:

Вік – вік пацієнта на момент проведення операції (повних років).

NYHA – функціональний клас хворого на серцеву недостатність, серед яких виділяють чотири класи:

- a) Клас 1. Обмеження на фізичну активність та якість життя хворого не накладаються.
- b) Клас 2. Накладаються незначні обмеження на фізичну активність.
- c) Клас 3. Майже повне уникнення фізичних навантажень.
- d) Клас 4. Часткова або повна непрацездатність, прояви хвороби в різних її симптомах можуть проявлятися в не залежності від фізичної активності.

Час спостереження – час, проведений під наглядом лікарів, після операції.

КСО – кінцевий систолічний об'єм при госпіталізації пацієнта,

ККР – кінцевий систолічний розмір при госпіталізації пацієнта,

ККА – кількість коарктованих артерій, просвіт яких зменшений, що заважає нормальному кровотоку у них.

ВЖТМ – відсоток життєздатних тканин міокарду,

Лактат – частка солей молочної кислоти у крові пацієнта при госпіталізації,

ІОЛС – індекс опору легеневих судин,

КАШ – кількість імплантованих під час операції аортокоронарних шунтів.

SAT(1) – систолічний тиск при госпіталізації,

SvO2(1) – сатурація гемоглобіну змішаної венозної крові киснем при госпіталізації,

KUO2(1) – коефіцієнт утилізації кисню при госпіталізації,

Час прийому препаратів після операції (дні),

Препарат А – доза препарату А,

Препарат Б – доза препарату Б,

					БС.52.25.1300.1404с.ПЗ	Лист
						43
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Препарат В – доза препарату В,
 Тривалість життя після операції та подальшого лікування (місяці),
 САТ(4) – систолічний тиск після операції та лікування,
 SvO2(4) – сатурація гемоглобіну змішаної венозної крові киснем після операції та подальшого лікування,
 КУО2(4) – коефіцієнт утилізації кисню після операції та подальшого лікування.

2.11. Статистичні моделі прогнозу

Представимо базу даних, як блочну матрицю об'єктів, де кожен об'єкт (рядок) описується набором параметрів (стовпців). Матрицю можна розбити на під матриці:

- підматриця X^p станів параметрів пацієнта (таблиця 2.3):

Таблиця 2.3

Змінні-параметри

Атрибут	Позначення
Вік	X_1
НУНА	X_2
Час спостереження	X_3
КСО	X_4
ККР	X_5
ККА	X_6
ВЖТМ	X_7
Лактат	X_8
ІОЛС	X_9
К-ть шунтів	X_{10}

- підматриця X^b станів до застосувань керувань (таблиця 2.4):

Змінні стану до застосування керувань

Атрибут	Позначення
CAT1	X_{11}
SvO2(1)	X_{12}
KyO2(1)	X_{13}

- підматриця X^e стан пацієнта після застосування керувань (таблиця 2.5):

Таблиця 2.5

Змінні стану після застосування керувань

Атрибут	Позначення
САД4	X_{19}
SvO2(4)	X_{20}
KyO2(4)	X_{21}

- підматриця U - керування (атрибути x_{14}, \dots, x_{17}) (таблиця 2.6):

Таблиця 2.6

Змінні керування станом об'єкту другої задачі

Атрибут	Позначення
Час прийому	$X_{14} (U_1)$
Препарат А	$X_{15} (U_2)$
Препарат Б	$X_{16} (U_3)$
Препарат В	$X_{17} (U_4)$

- Критеріальна зміна X_{18} – тривалість життя після операції.

Необхідно щоб деякі компоненти моделей регресії входили в них нелінійно, тому розширюємо базу даних за допомогою Feature Engineering.

При цьому керування U мають входити під протекцією та лінійно.

					БС.52.25.1300.1404с.ПЗ	Лист
						45
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Маємо наступний алгоритм дій:

- розширення бази даних, додавши нелінійні комбінації;
- розрахунок цих значень для кожного об'єкту;
- формування розширеної матриці в зазначеній вище формі;
- відбір змінних, які найбільше впливають на якість моделі;
- побудова регресійних моделей.

Використовуючи ці дані, отримуємо прогнозує моделі за допомогою модифікованого алгоритму МГУА з комбінаторної селекцією і ортогоналізації змінних [46] для критеріальної змінної та трьох змінних кінцевих станів, значення який є принциповим для ефективності лікування.

Отримані моделі та їх точність (рис.2.1-2.4) виглядають наступним чином:

$$x_{18} = -22,457 - 155,95 \frac{x_3}{x_1} - 12,454 * x_2 + 5,708 * x_3 + 0,98 * x_{11} + U_1 (23,26 \frac{x_{11}}{x_{12}} - 0,0045 * \frac{x_3}{x_{11}}) + U_2 (0,58 * x_{11}^2 - 0,0005 * x_7) + U_3 (-0,796 \frac{x_{11}}{x_1}) + U_4 (0,345 \frac{x_3}{x_{12}})$$

Сводка для модели				
Модель	R	R-квадрат	Скорректированный R-квадрат	Стандартная ошибка оценки
9	,983 ^e	,966	,965	18,79445916

Рисунок 2.1. Точність моделі «Тривалість життя»

$$x_{19} = 68,874 - 2,75 * x_2 + x_3 (15,32 \frac{1}{x_{10}} - 0,346 * x_{11} + 0,102 * x_{13}) + x_{12} (9,315 * \frac{1}{x_{10}} - 4,122 \frac{1}{x_4}) + 0,85 * x_{13} + U_1 (12,615 \frac{x_{11}}{x_1}) + U_2 (-0,056 \frac{x_4}{x_1}) + U_3 (-0,02 \frac{x_1}{x_{11}}) + U_4 (-0,003 \frac{x_3}{x_1})$$

Сводка для модели				
Модель	R	R-квадрат	Скорректированный R-квадрат	Стандартная ошибка оценки
9	,935 ^a	,874	,863	1,304981

Рисунок 2.2. Точність моделі «САТ4»

$$x_{20} = 0,705 + x_3(0.065 \frac{1}{x_{10}}) - 0.001 * x_{10} + 0.006 * x_{13} + U_1(0.0005 \frac{x_{12}}{x_1}) + U_2(-0.0001 \frac{x_4}{x_{12}}) + U_3(-0.0004 \frac{x_{11}}{x_4}) + U_4(-0.0001 \frac{x_3}{x_1})$$

Сводка для модели

R	R-квадрат	Скорректиро ванный R- квадрат	Стандартная ошибка оценки
,949 ^a	,900	,893	2,084767183

Рисунок 2.3. Точність моделі «SvO2(4)»

$$x_{21} = 12,98 + x_1(5.668 \frac{1}{x_{10}}) + 3.179 * x_2 + x_3(-12.3 \frac{1}{x_{10}} + 0.118 * x_{11}) + 0.148 * x_{10} - 0.782 * x_{13} + U_1(-0.035 \frac{x_1}{x_{10}}) + U_2(0.032 \frac{x_4}{x_{12}}) + U_3(0.034 \frac{x_1}{x_4}) - 0.002 * U_4$$

R	R-квадрат	Скорректиро ванный R- квадрат	Стандартная ошибка оценки
,944 ^a	,892	,883	,02000

Рисунок 2.4. Точність моделі «КУО2(4)»

Висновки до розділу 2

В даному розділі було розглянуто теоретичну основу, яка використовується в дипломній роботі. Обґрунтовано вибір мови програмування, визначення її переваг перед іншими. Була описана математична постановка задачі та методи її вирішення. Представлена база даних з клінічними випробуваннями, яка було підлаштована для задачі оптимізації та побудовані по ній математичні моделі регресії,

РОЗДІЛ 3

ПРОЕКТУВАННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

На етапі проектування інтелектуального інтерфейсу було розроблено ряд різних видів діаграм, які необхідні для подальшої реалізації програмного продукту.

3.1. Контекстна діаграма IDEF0

Опираючись на поставленні завдання, було побудовано контекстну діаграму за методологією IDEF0 [47], яка відображає повну структуру процесів роботи інтелектуального інтерфейсу (рис 3.1).

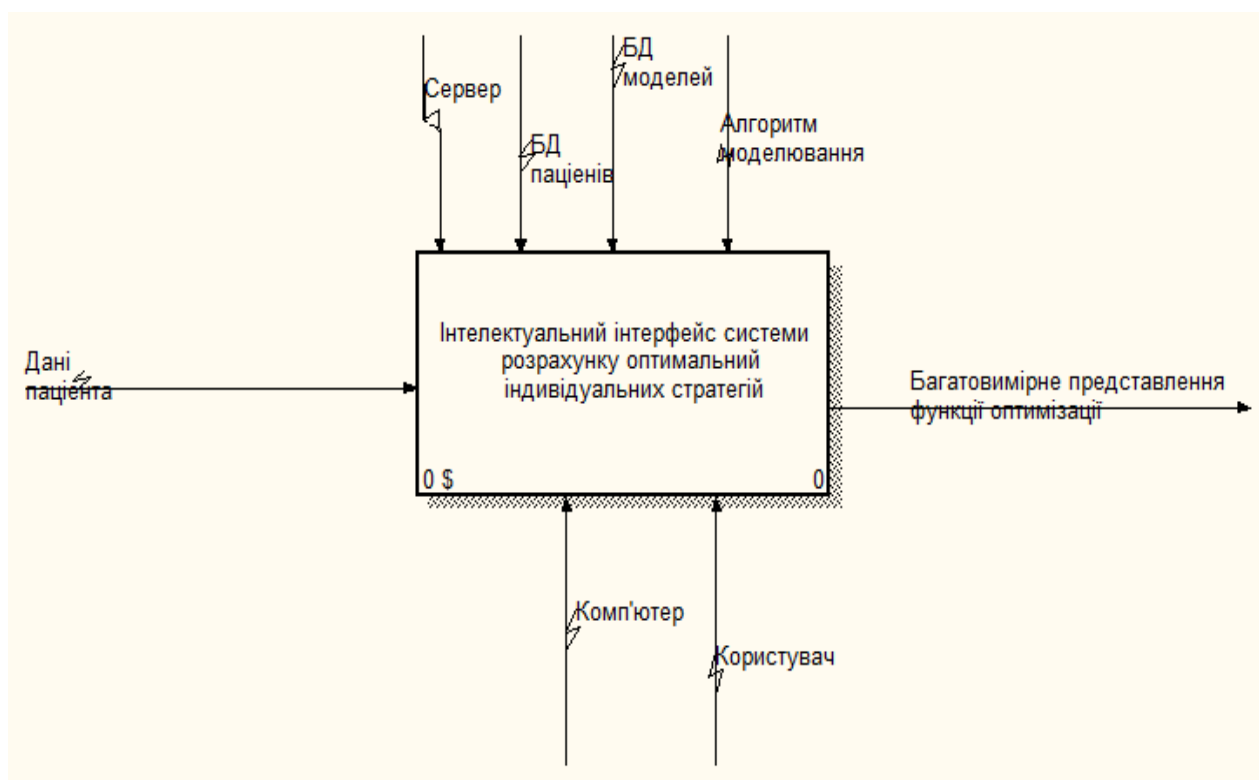


Рисунок 3.1. Контекстна діаграма проекту

Дана контекстна діаграма описує систему, яка повинна виконувати функцію інтелектуального інтерфейсу з функціоналом для візуалізації та

відображення доцільних меж для рівнянь-обмежень багатовимірних моделей регресії, в якій позначено входи та виходи системи, а також механізми та управління, за допомогою яких здійснюються всі процеси.

3.2. Діаграма декомпозиції першого рівня IDEF0

Для деталізації контекстної діаграми створено діаграму декомпозиції першого рівня [48]. Ця діаграма відображає загальний процес роботи інтелектуального інтерфейсу (рис. 3.2) можна розбити на п'ять наступних етапів: завантаження БД пацієнтів, завантаження моделей, заповнення даних пацієнта, вибір показників побудови графіка, побудова графіка.

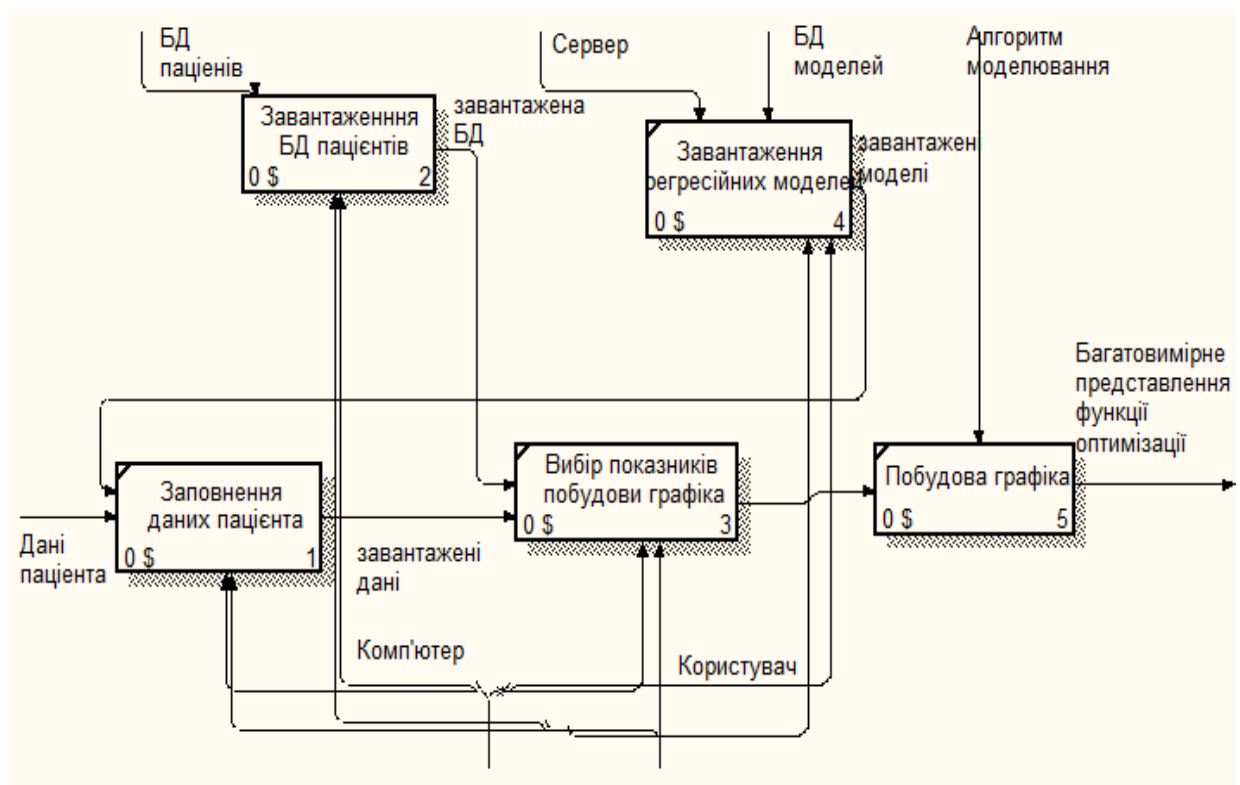


Рисунок 3.2. Діаграма декомпозиції 1-го рівня

3.3. Діаграма декомпозиції другого рівня IDEF0

Діаграма другого рівня декомпозиції (рис 3.3-3.4) необхідно, щоб

більше конкретизувати деякі етапи розробки програмного продукту, такі як «завантаження бази даних» та «побудова графіка».

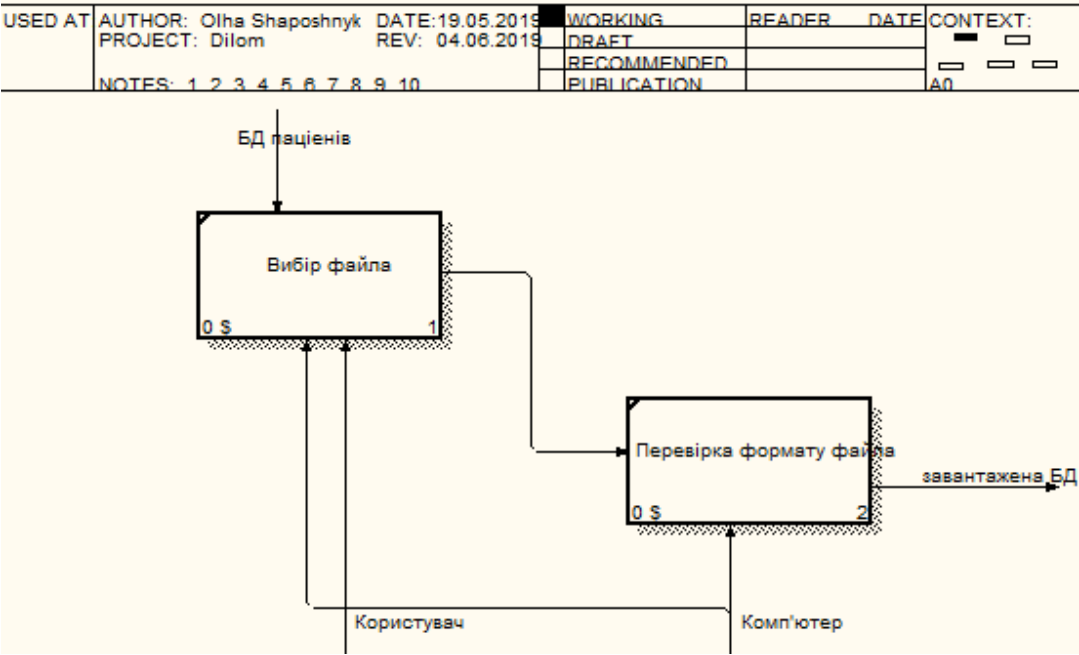


Рисунок 3.3. Діаграма декомпозиції «Завантаження БД пацієнтів»

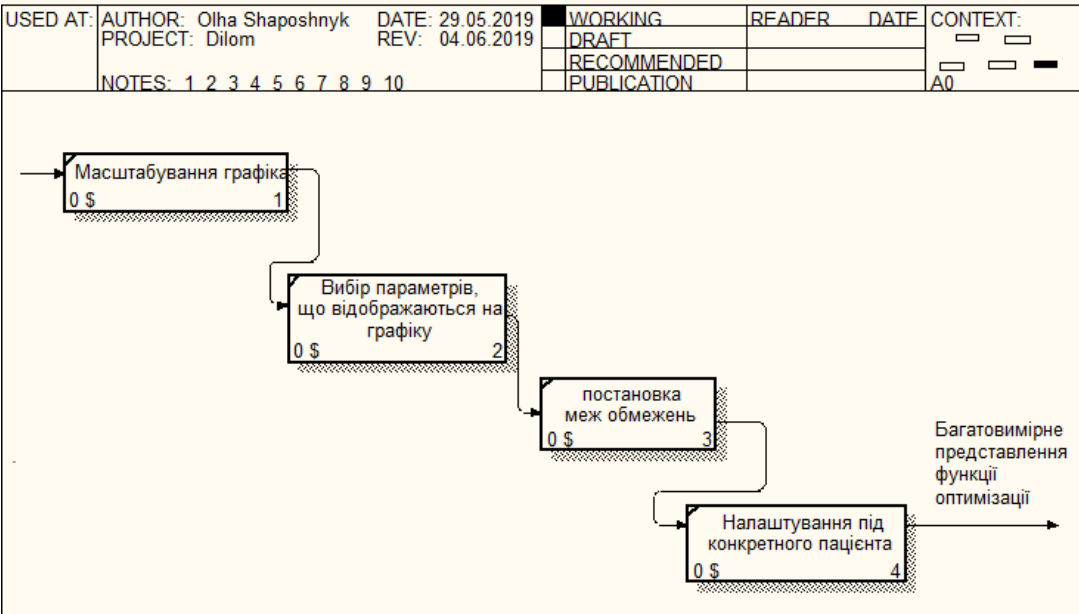


Рисунок 3.4. Діаграма декомпозиції «Побудова графіка»

3.4. Діаграма IDEF3

На діаграмі IDEF3 (рис. 3.5) показана деталізація процесу роботи

системи з аналітичної точки зору, вказавши послідовність процесів та як вони зв’язані між собою.

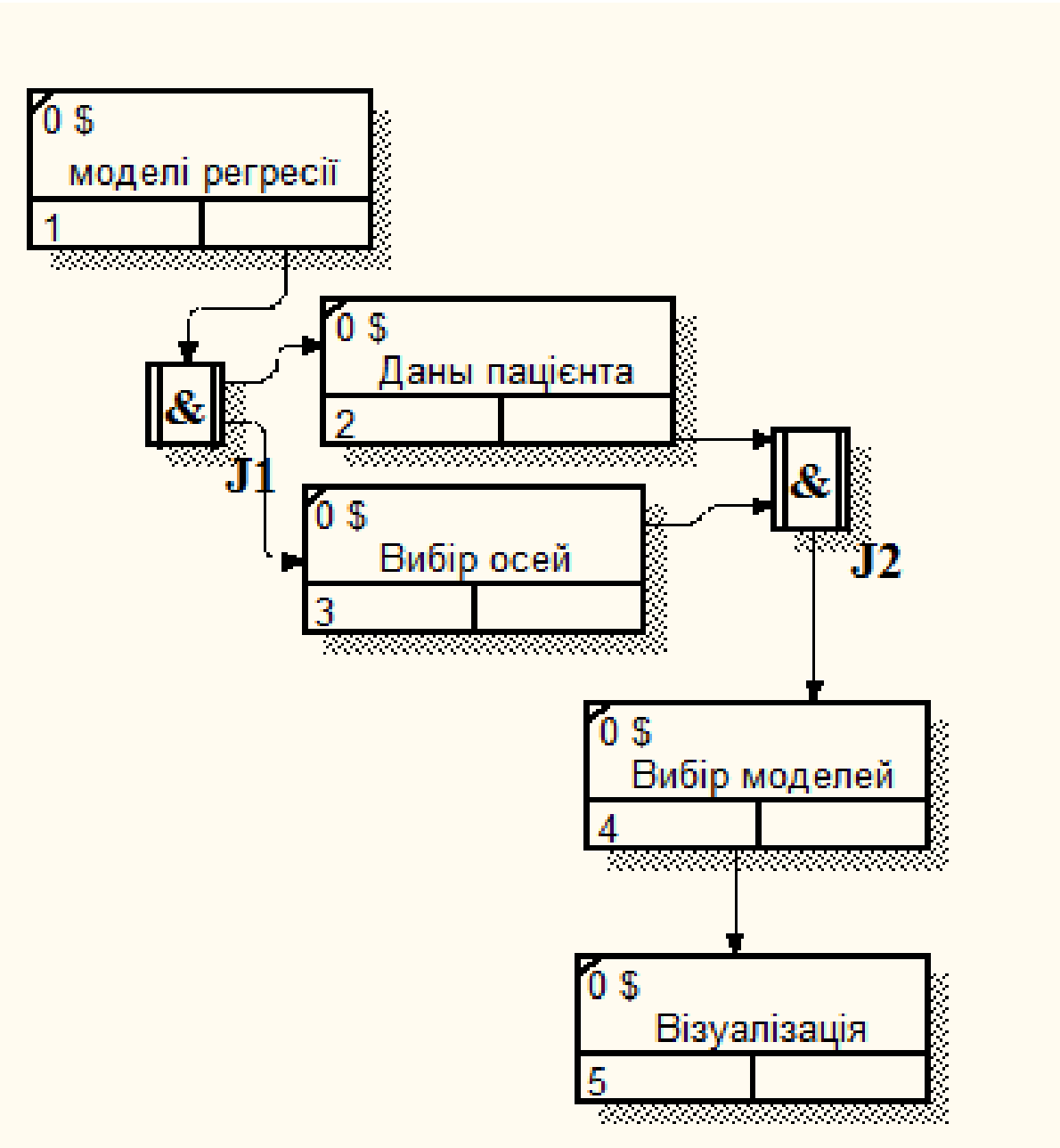


Рисунок 3.5 Діаграма IDEF3

3.5. Дерево вузлів

На діаграмі дерева вузлів (рис. 3.6) відображені всі процеси та під процеси роботи програми. За її допомогою можна оцінити складність виконання роботи в цілому та послідовність виконання процесів.

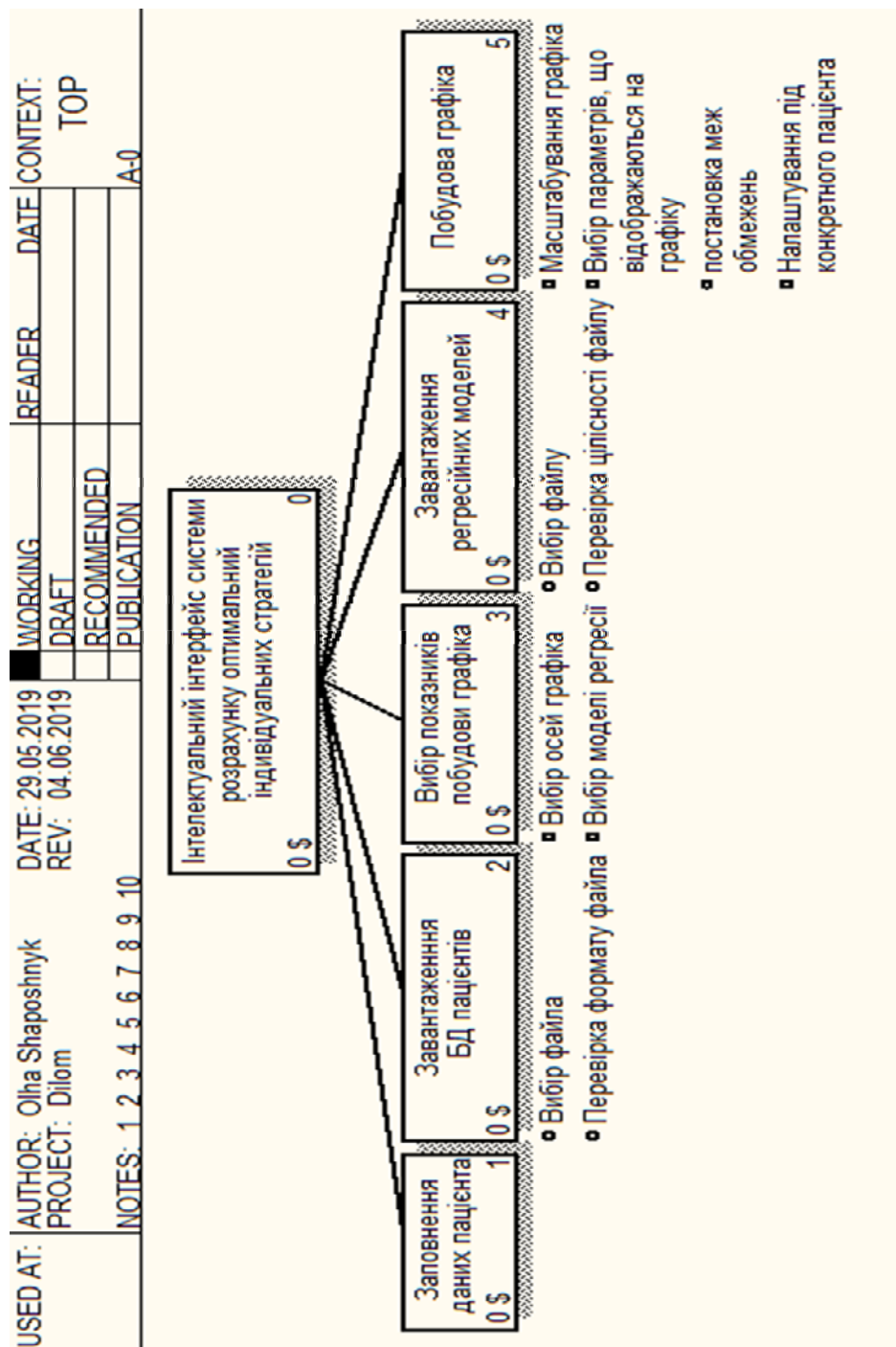


Рисунок 3.6. Діаграма дерева вузлів

3.6. Діаграма DFD

Ця діаграма відображає документообіг всередині системи, та використовується як доповнення до діаграми IDEF0, для детальнішого показу потоку даних (рис. 3.7).

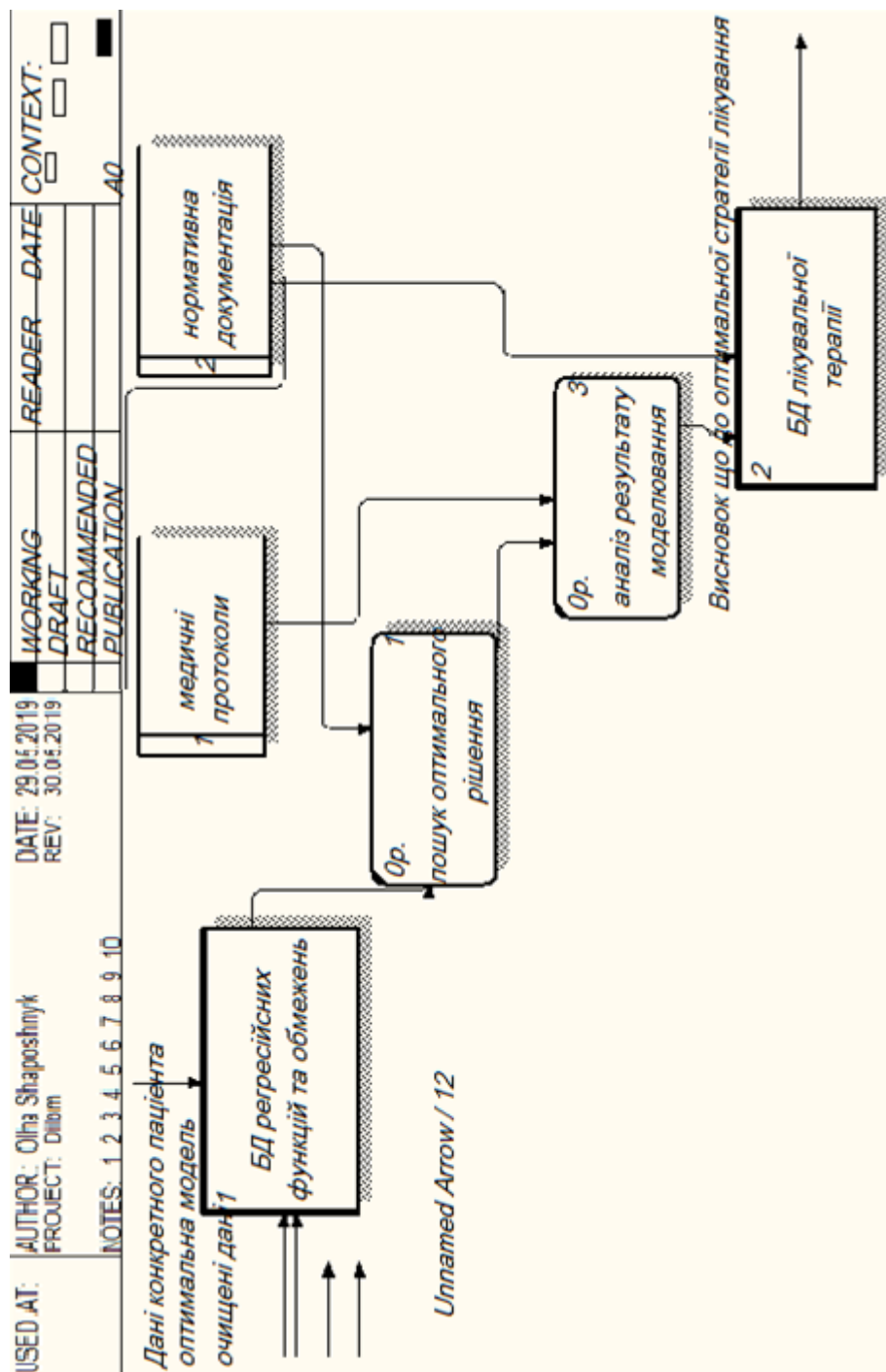


Рисунок 3.7. – Діаграма класів

3.7. Use-case діаграма

На діаграма Use-case [49] відображено взаємодії між актором (користувачем) та інтелектуальним інтерфейсом (рис. 3.8), такі як: запуск програми, завантаження бази даних пацієнтів, завантаження багатовимірних

моделей регресії, налаштування параметрів, необхідних для побудови графіка, (параметри конкретного пацієнта, вибір осей відображення графіка та вибір моделі для візуалізації), побудова графіків, з подальшим його збереженням. Також можна передчасно вийти із програми.

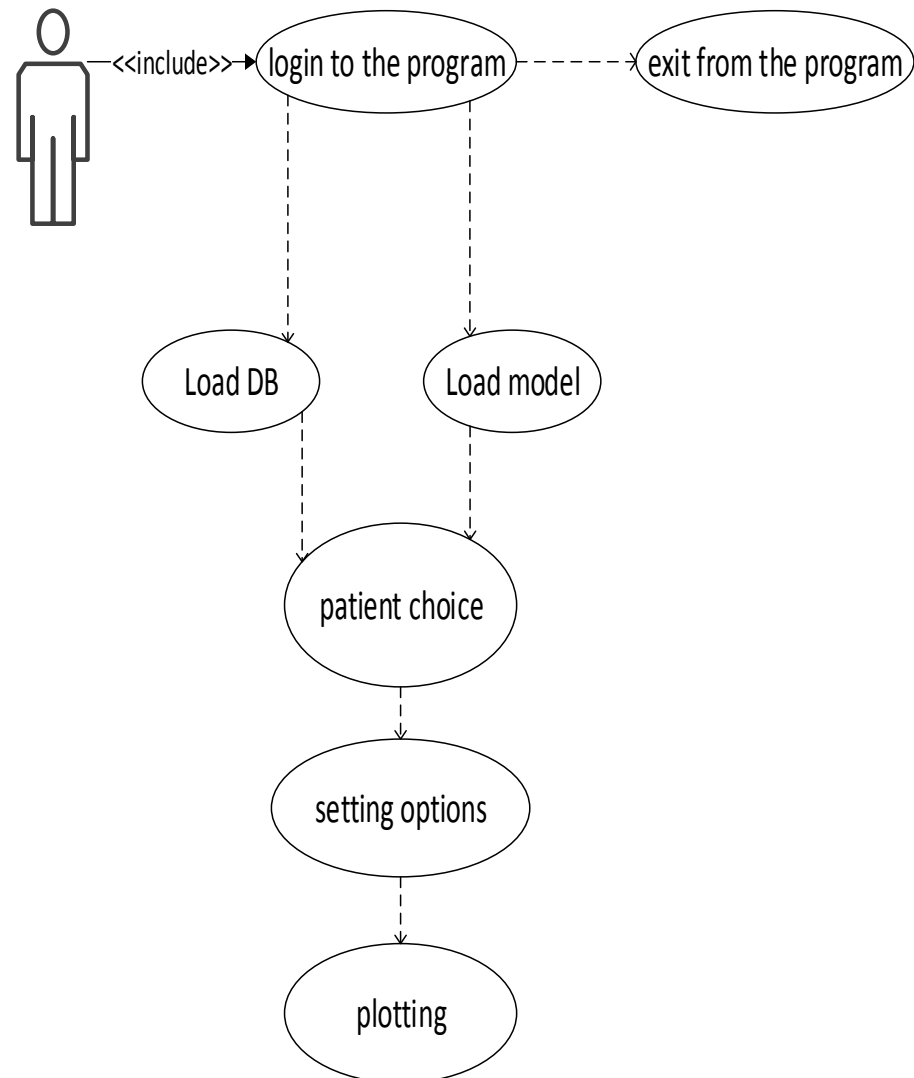


Рисунок 3.8. Use-case діаграма

3.8. Діаграма послідовності

Діаграма послідовностей (рис. 3.9), на якій відображено взаємодію користувача (актора) з об'єктами системи в часу та також обмін повідомленнями між ними [50].

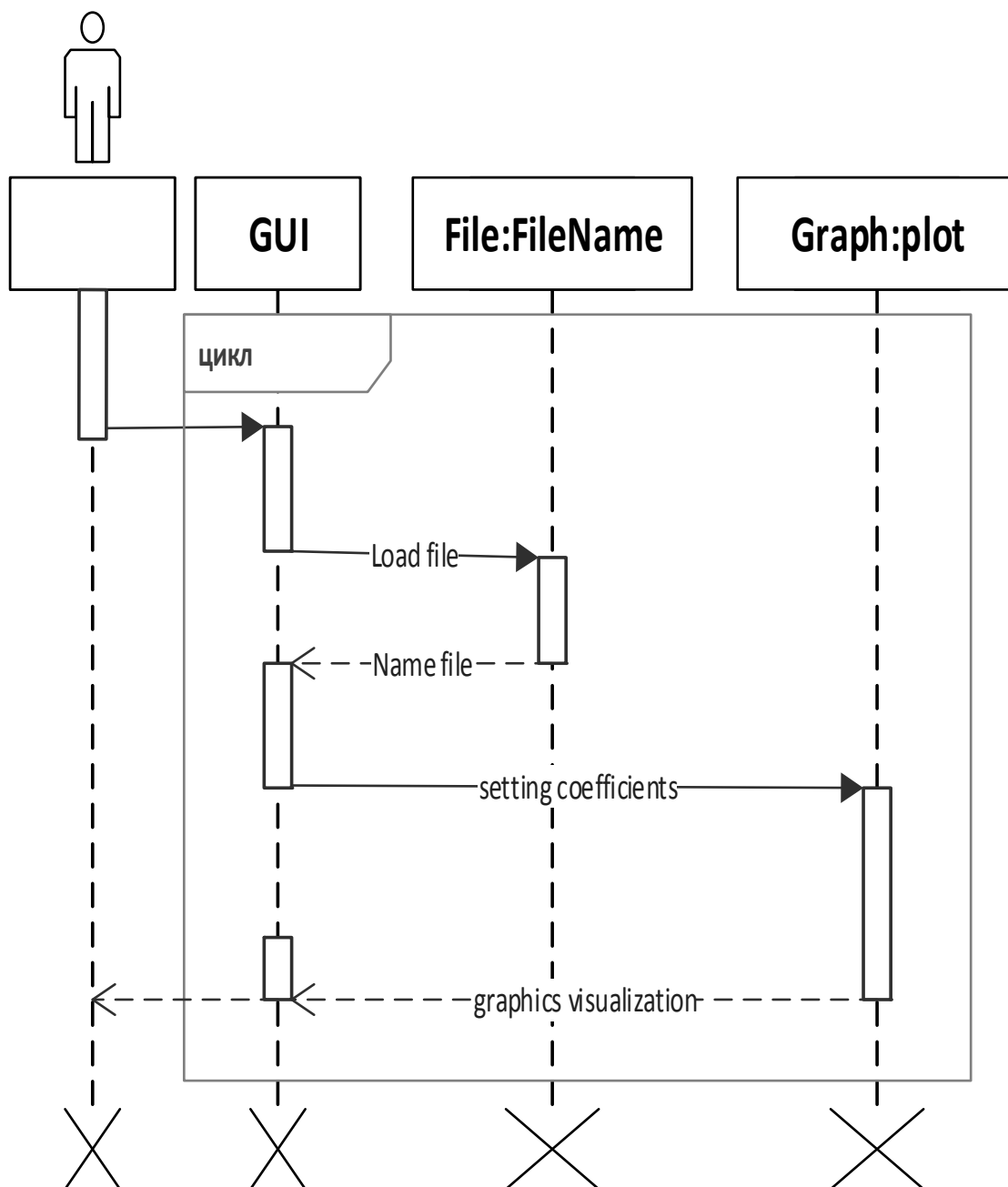


Рисунок 3.9. Діаграма послідовності для завантаження файлу

3.9. Діаграма станів

Діаграма станів (рис. 3.10) роботи головного сценарію призначено для показу, як об'єкт системи переходить від одного стану в інший в процесі виконання програми.

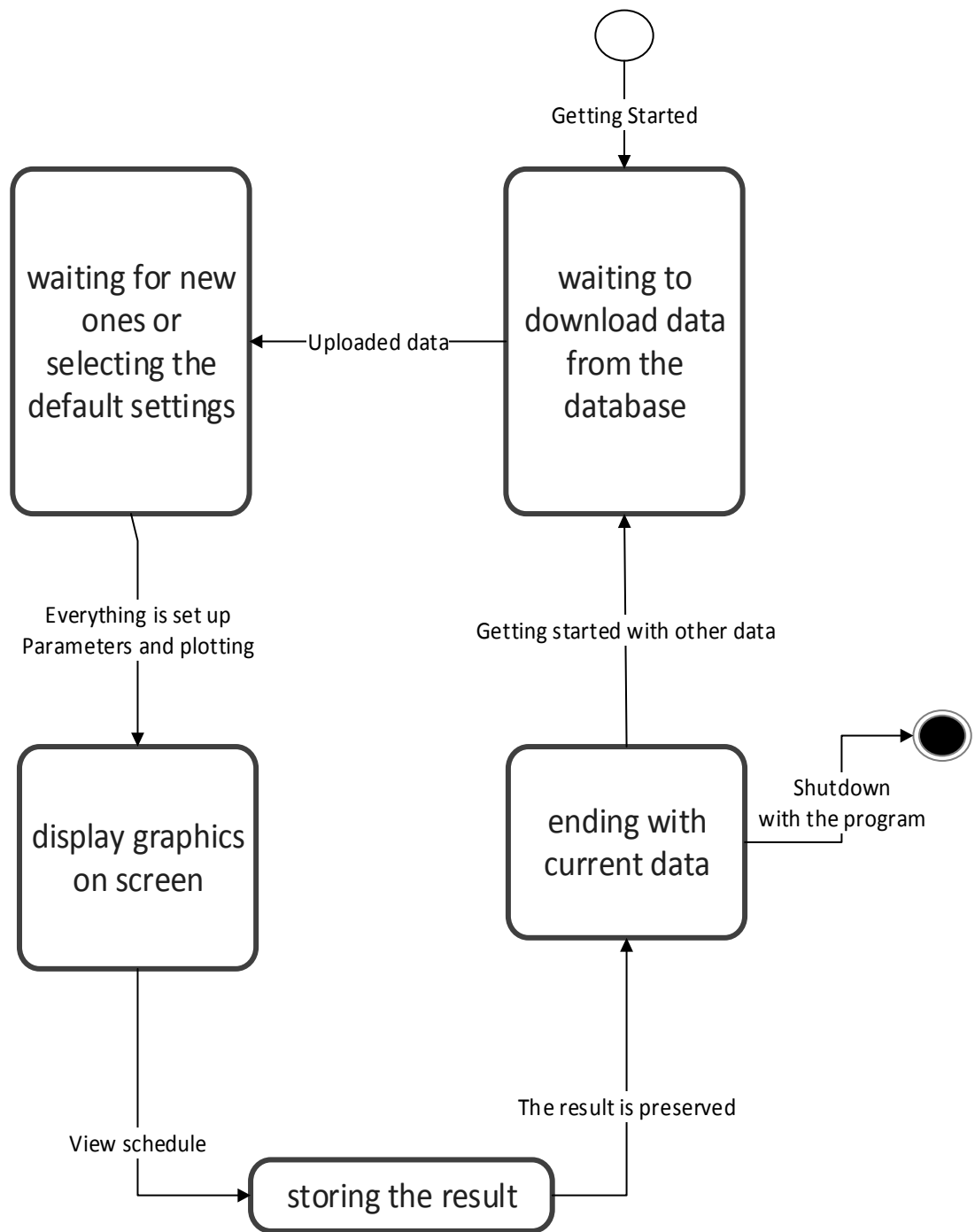


Рисунок 3.10. Діаграма станів інтелектуального інтерфейсу

3.10. Діаграма діяльності

На даній діаграмі (рис. 3.10) зображений процес роботи з інтелектуальним інтерфейсом. Діаграма діяльності безпосередньо пов'язана

з діаграмою станів, бо вона описує діяльності, стани яких зображені на попередній діаграмі.

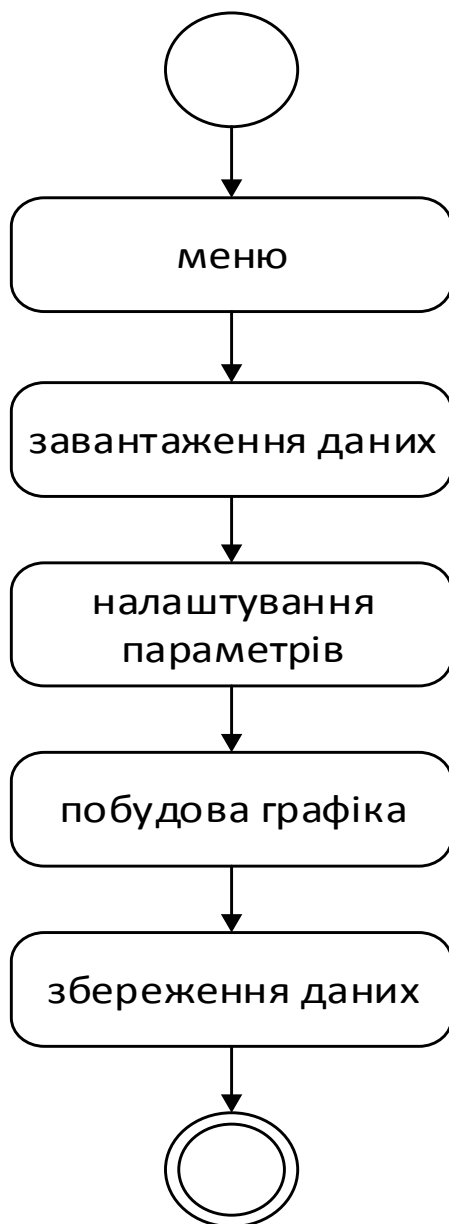


Рисунок 3.11. Діаграма діяльності

3.11. Діаграма класів

Діаграма класів (рис. 3.11) відображає відображає структуру програми, класи, інтерфейси та взаємодію між ними.

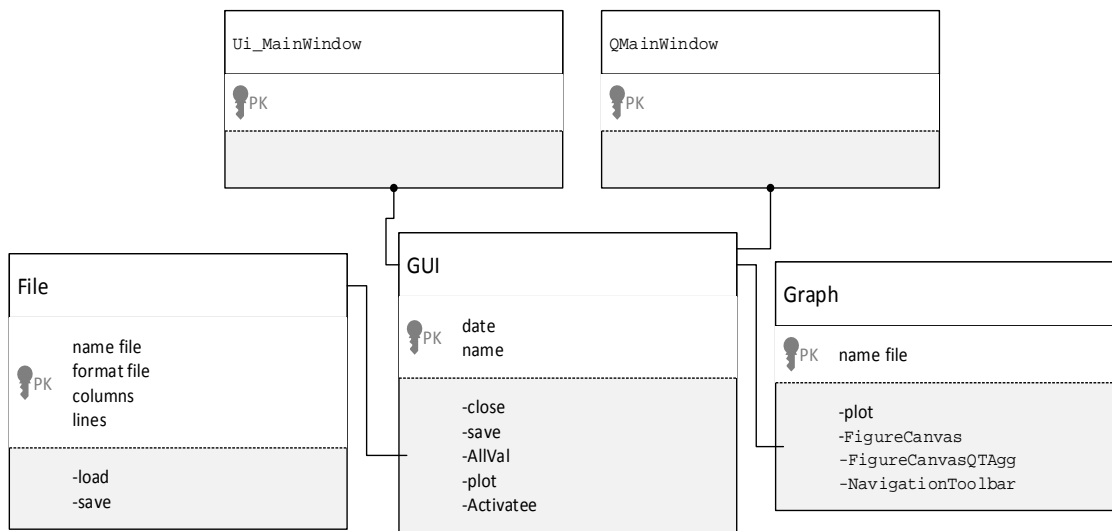


Рисунок 3.12 Діаграма класів

Висновки до розділу 3

В даному розділі дипломної роботи було здійснене проектування інтелектуального інтерфейсу у вигляді діаграм. Ці діаграми описують всі етапи розробки програмного продукту, розглядаючи його функціональність, передачу даних між об'єктами, враховуючи основні особливості щодо функціональності системи.

РОЗДІЛ 4

РЕАЛІЗАЦІЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

4.1. Розробка інтелектуального інтерфейсу

Для розробки даного програмного продукту було використана JetBrains PyCharm 2018.3.5, для створення інтерфейсу використовувався Qt Designer, для реалізації роботи програми – мова програмування Python, яка добре підходить для вирішування складних математичних задач та має різноманітні засоби для візуалізації.

Інтерфейс має бути простим та зрозумілим для користувача. На першому етапі роботи з програмою необхідно завантажити всі файли (рисунок 4.1)

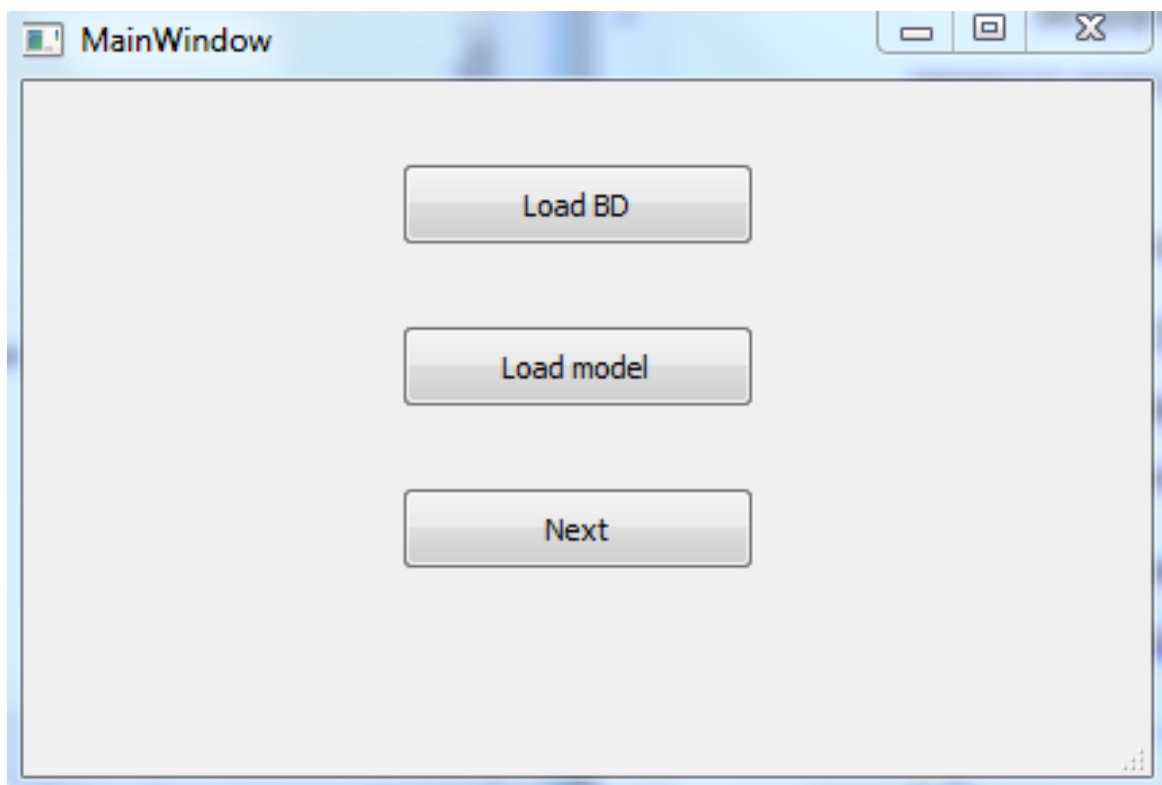


Рисунок 4.1. Перший робочий екран інтерфейсу

«Load DB» - відповідає за завантаження бази даних пацієнтів з файла Excel з розширенням .xlsx або текстовий файл формату .csv, який можна обрати з діалогового вікна відкриття файлу (рисунок 4.2)

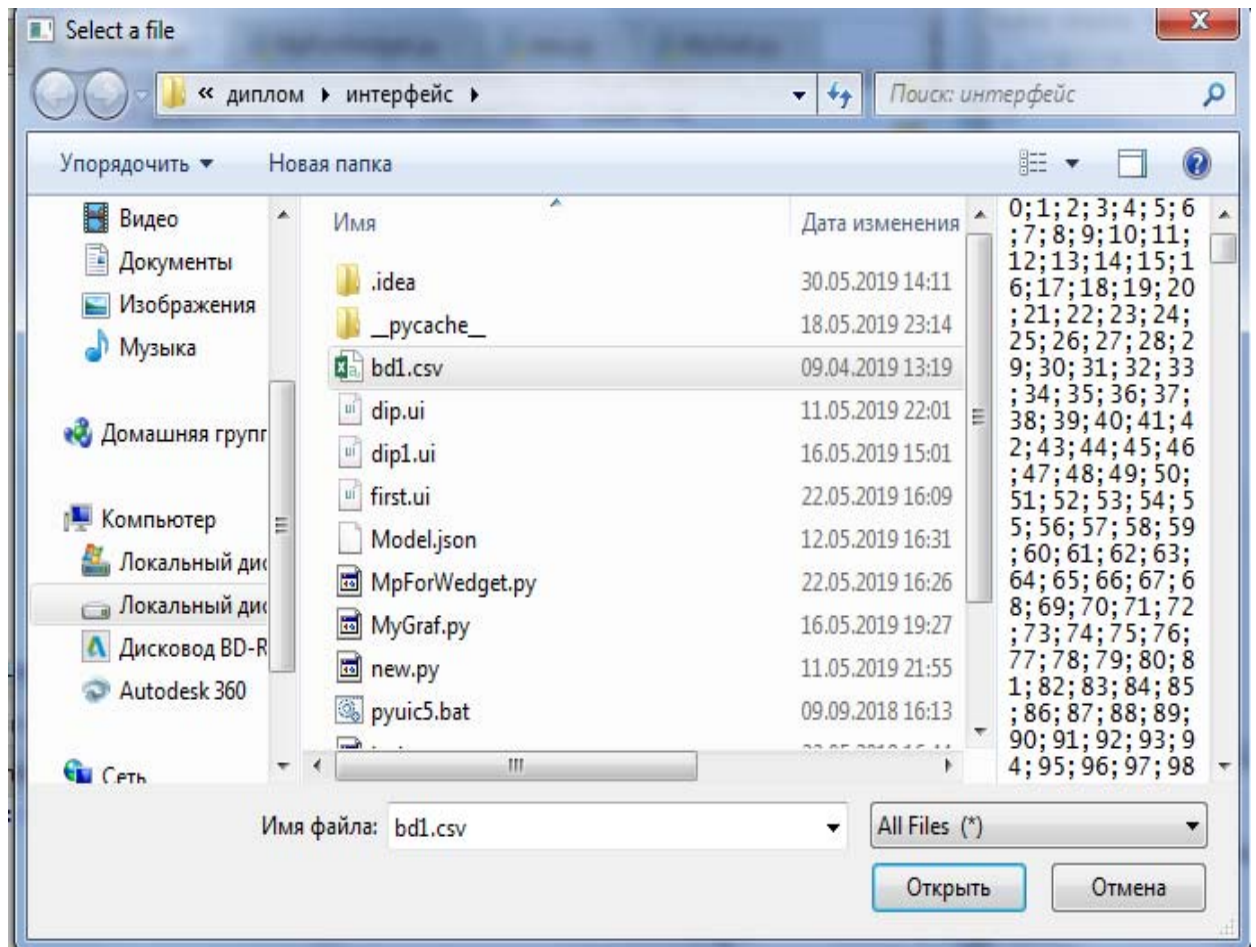


Рисунок 4.2. Діалогове вікно вибору файлів

«Load model» - відповідає за завантаження моделей регресії, які мають бути в форматі .json, отриманого з клієнт-серверного додатку. Вибір файлу обирається так само з діалогового вікна відкриття файлу.

«Next» - переводить користувача на основний екран програми (рисунок 4.3).

Головний екран візуально ділиться на декілька частин:

- центральна частина для побудови багатовимірних моделей регресії;

- ліва частина – місце для заповнення даних конкретного пацієнта, яка відповідає переліку всіх параметрів, які були зазначені при побудові моделей.
- верхня частина – місце для налаштування компонент побудови графіка.
- нижня частина – налаштування відображення графіка (масштабування, поворот, повернення до попередньої версії, збереження рисунку в форматі .png)

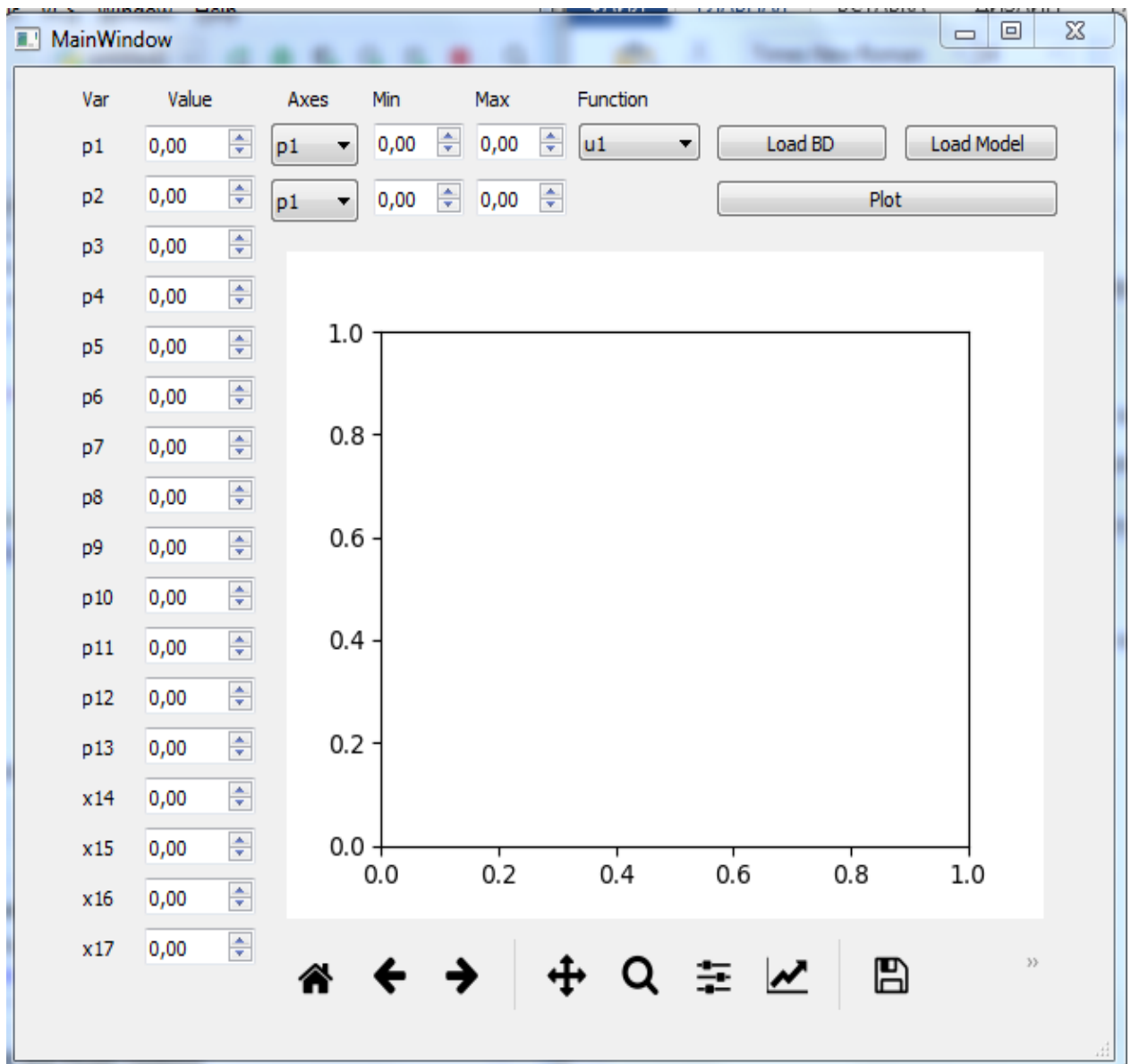


Рисунок 4.3. Перший робочий екран інтерфейсу

Першим кроком в роботі є заповнення даних пацієнта, внесення всіх його параметрів стану до лікування, для подальшого формування скорочених рівнянь оптимізації, які будуть досліджуватися. Далі необхідно обрати осі, по яким будується графік. В ролі осей можуть виступати всі можливі значення стану пацієнта, але доцільніше обирати ті, які логічно пов'язані з оптимізуючими кінцевими станами, або управління – щоб відслідкувати залежність щодо застосування управлінь та їх комбінації. Для цього використовується випадаючий список, який містить всі можливі варіанти параметрів (рисунок 4.4)

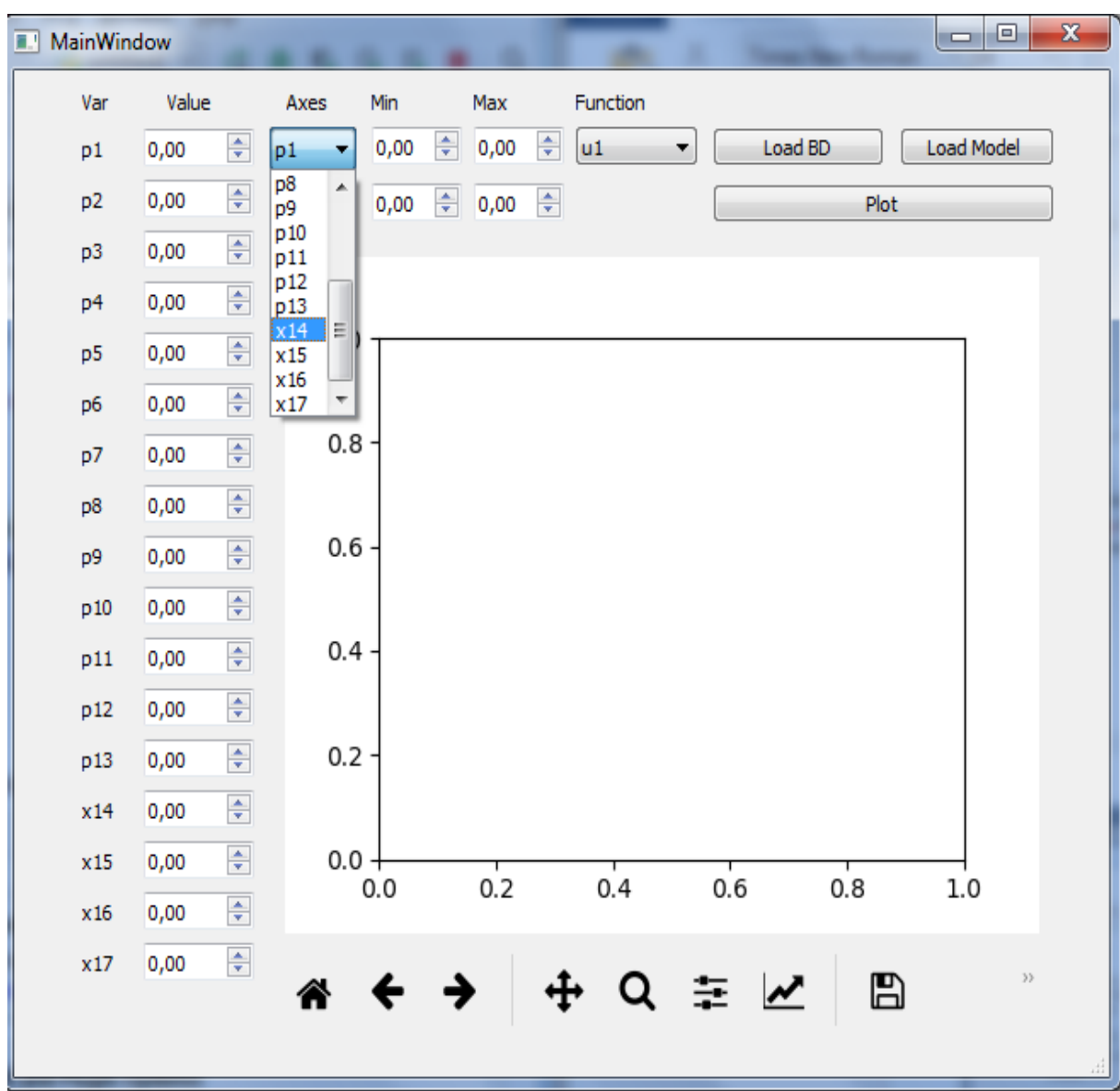


Рисунок 4.4. Налаштування параметрів графіка

Після вибору осей графіка, необхідно задати їх ранжування, позначивши мінімальне та максимально можливе значення по цьому параметру, адже для кожного значення воно буде різне, також за допомогою меж можна дивитися як поведи́тиме себе та чи інша оптимізаційна функція в залежності від вхідних параметрів.. Вибір багатовимірної моделі регресії теж здійснюється за допомогою випадального списку.

Далі йде етап побудови графіка (рисунок 4.5).

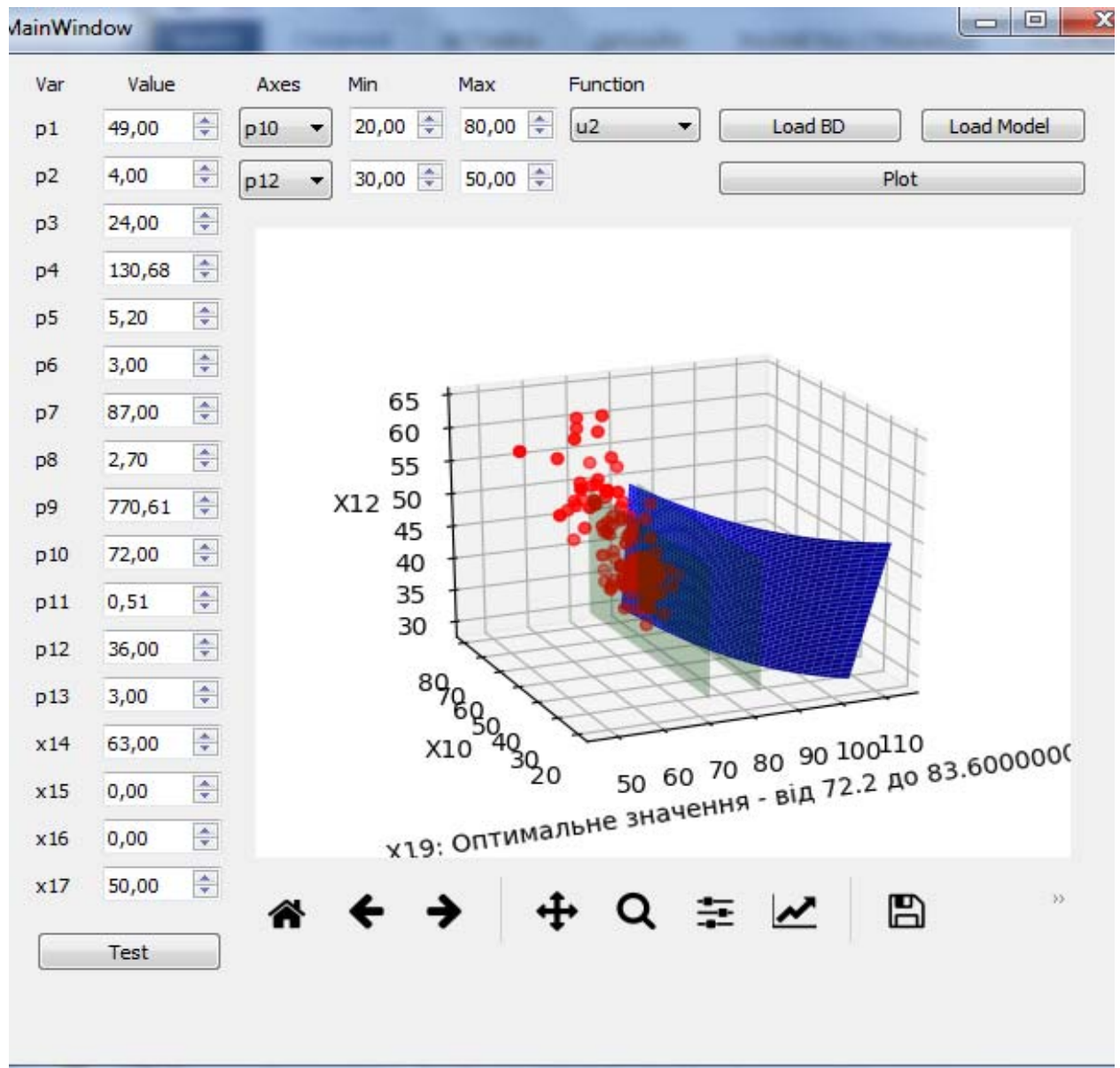


Рисунок 4.5. Відображення багатовимірної функції

На основному полоні для відображення графіків, відображаються три складові: основний графік багатовимірної функції, точки-об'єкти всіх пацієнтів які є в базі, відносно яких оцінюється якість моделей, та дві площини-обмеження, які продубльовано часловими значення під графіком, ці значення доцільно обрати для вирішення задачі знаходження оптимальної лікувальної стратегії.

4.2. Аналіз отриманих результатів

В результаті роботи з інтелектуальним інтерфейсом можна якісно оцінити достовірність багатовимірних моделей регресії. На рисунку 4.6 зображено одну з функцій-обмежень.

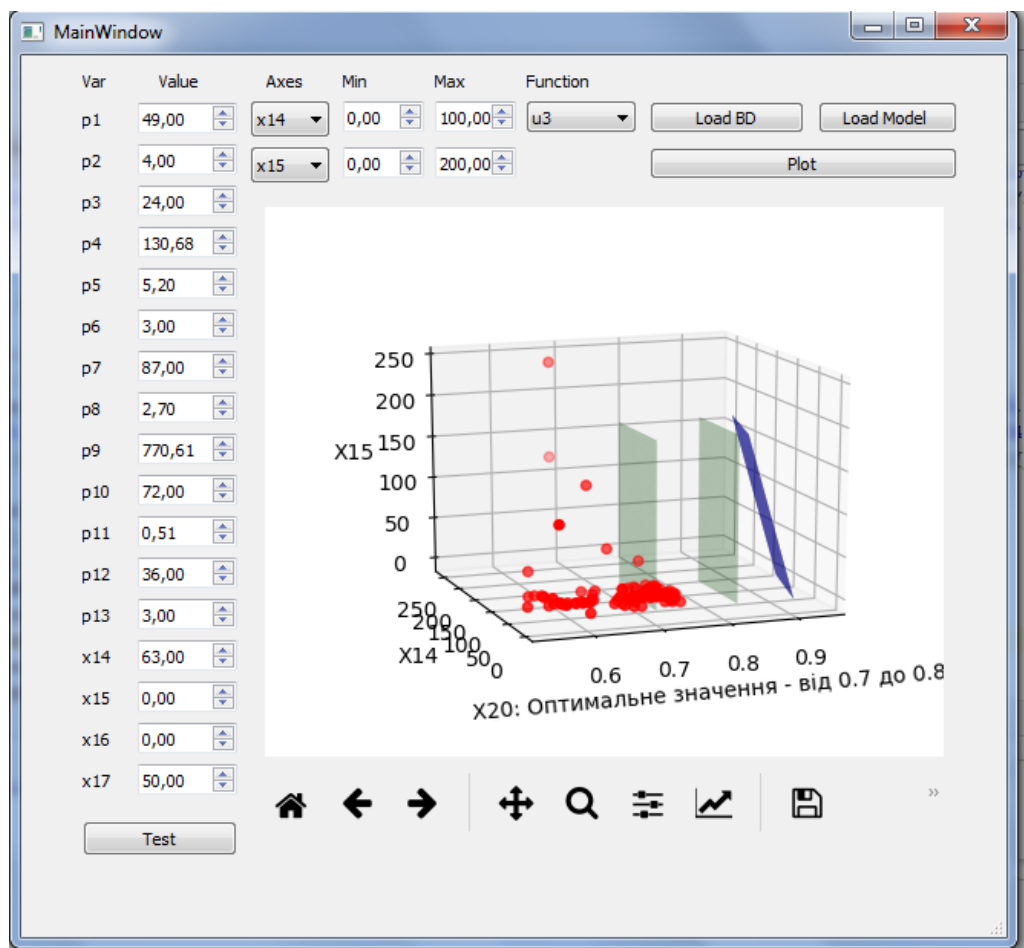


Рисунок 4.6. Неякісна модель регресії

Під час аналізу було виявлено, що не всі початкові функції можна використовувати для подальшого розрахунку оптимальних лікувальних стратегій.

Можемо побачити, що не дивлячись на те, що при побудові моделей за допомогою SPSS Statistics був отриманий гарний коефіцієнта детермінації (рисунок 4.7), що свідчить про гарну точність моделі, але за візуальний аналіз дав протилежний результат.

Сводка для модели

Модель	R	R-квадрат	Скорректированный R-квадрат	Стандартная ошибка оценки
1	,925 ^a	,856	,846	,01307

Рисунок 4.7. Довідка по моделі оптимізації

При візуальному аналізі за допомогою інтелектуального інтерфейсу можна побачити, що точки, за якими була побудована модель, ніяк не пересікаються з самою площиною моделі. За допомогою такою багатомірної функції не можна достовірно спрогнозувати стан пацієнта, тому дана модель не надає необхідної точності прогнозування.

З цього можна зробити висновок, що модель була розрахована з помилкою, яку можна пояснити через погану обумовленість матриць, який виникає через те, що в матриці коефіцієнтів одночасно присутні дуже великі і дуже малі числа - тоді при операції знаходження оберненої матриці обумовленість різко погіршується (дуже малі числа діляться на дуже великі) і зростає похибка. Тому виявилася необхідність замінити модель на більш адекватні, які б мали не тільки гарний числовий показник якості, але і візуально відповідали логіці.

При подальшому аналізі багатовимірних функцій і їх допустимих меж обмежень, було визначено доцільні граничні значення для моделей регресії (рисунок 4.8-4.10).

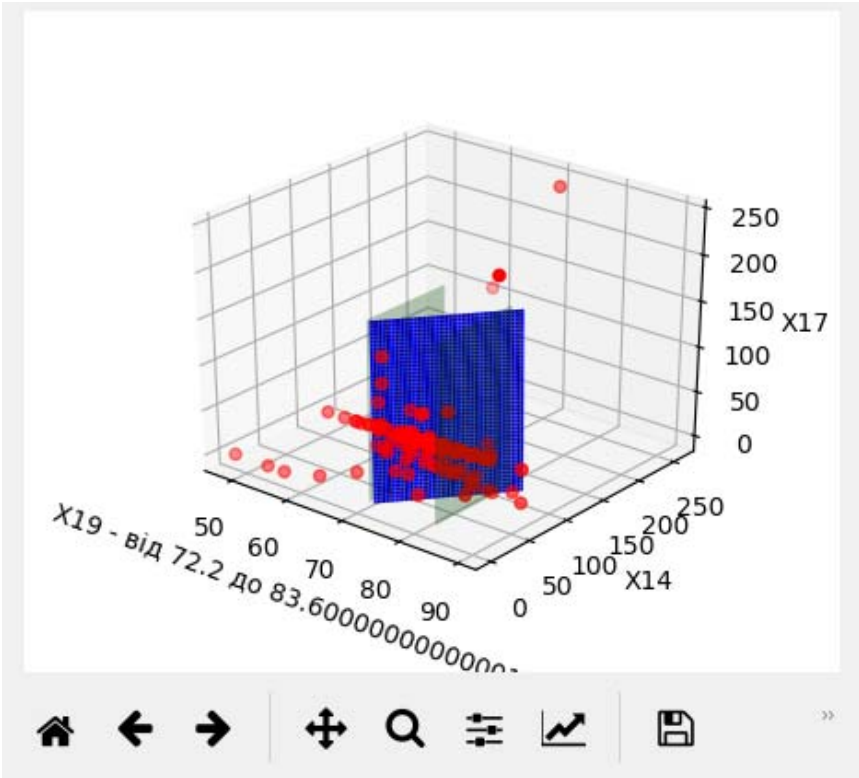


Рисунок 4.8. Визначення обмежень для САТ

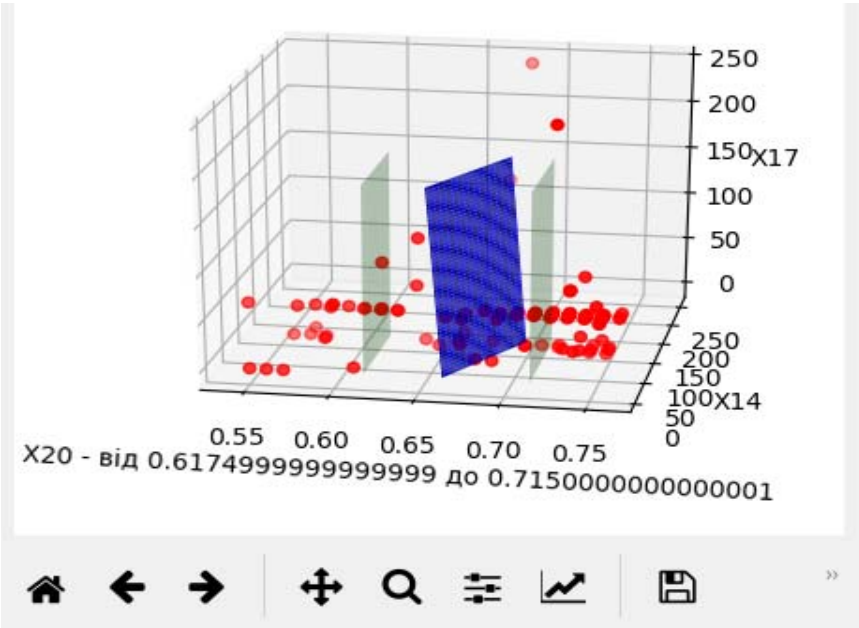


Рисунок 4.9. Визначення обмежень для SvO2

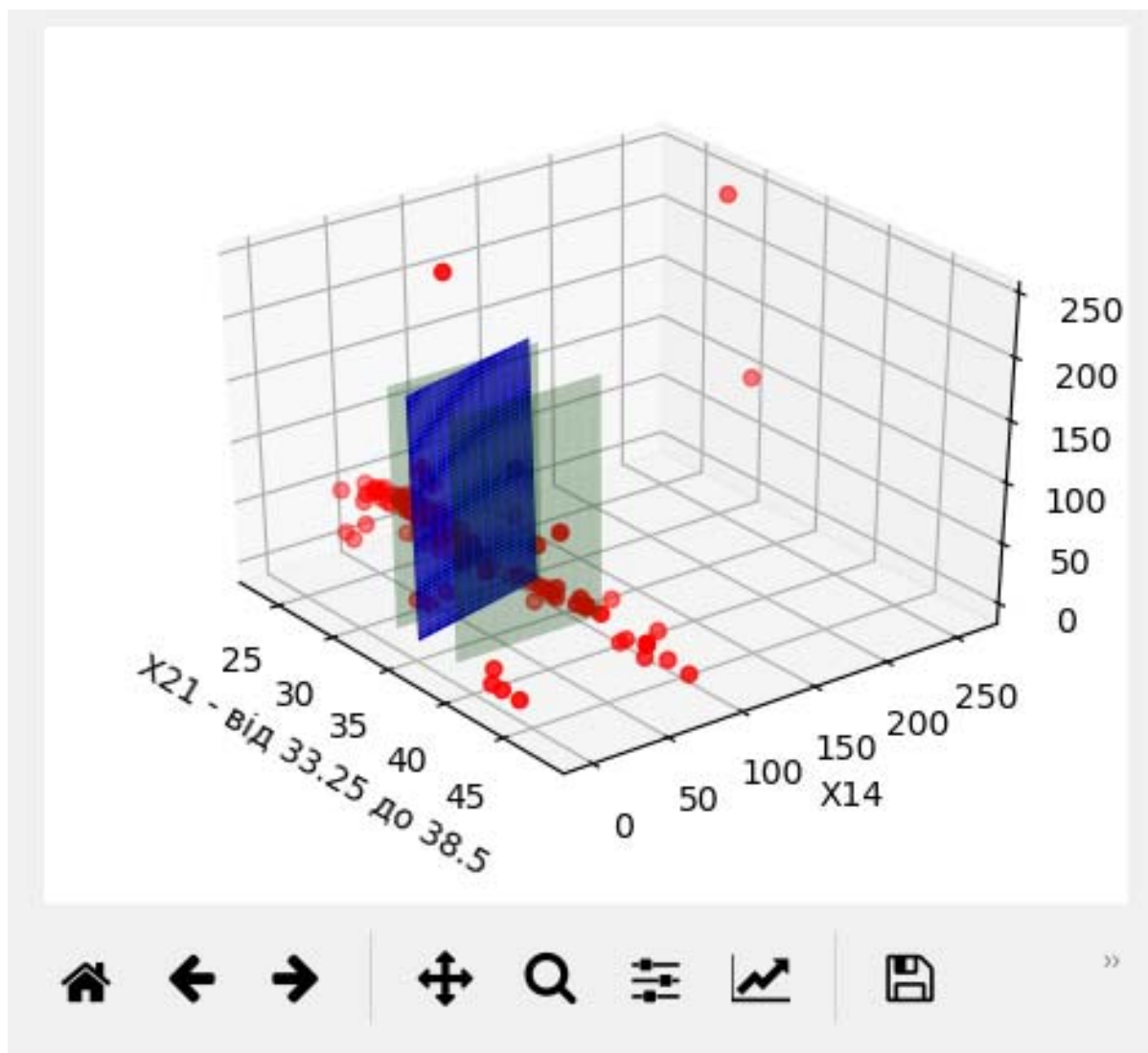


Рисунок 4.10. Визначення обмежень для CuO_2

Для наочного представлення даних, після їх візуалізації, занесемо всі значення обмежень до таблиці 4.1 для подальшого аналізу

Таблиця 4.1

Границі змінних стану після застосування керування

Змінна	Нижня границя	Верхня границя
САД4 (X_{19})	72	83
$\text{SvO}_2(4)$ (X_{20})	0,6	0,7
$\text{CuO}_2(4)$ (X_{21})	33	38

Запишемо оптимізаційну задачу опираючись на розраховані раніше моделі та враховуючі обрані обмеження.

$$MAX(x_{18}) = -22,457 - 155,95 \frac{x_3}{x_1} - 12,454 * x_2 + 5,708 * x_3 + 0,98 * x_{11} + U_1(23,26 \frac{x_{11}}{x_{12}} -$$

$$- 0,0045 * \frac{x_3}{x_{11}}) + U_2(0,58 * x_{11}^2 - 0,0005 * x_7) + U_3(-0,796 \frac{x_{11}}{x_1}) + U_4(0,345 \frac{x_3}{x_{12}})$$

$$72 \leq 68,874 - 2,75 * x_2 + x_3(15,32 \frac{1}{x_{10}} - 0,346 * x_{11} + 0,102 * x_{13}) + x_{12}(9,315 * \frac{1}{x_{10}} - 4,122 \frac{1}{x_4}) +$$

$$+ 0,85 * x_{13} + U_1(12,615 \frac{x_{11}}{x_1}) + U_2(-0,056 \frac{x_4}{x_1}) + U_3(-0,02 \frac{x_1}{x_{11}}) + U_4(-0,003 \frac{x_3}{x_1}) \leq 83$$

$$0,6 \leq 0,705 + x_3(0,065 \frac{1}{x_{10}}) - 0,001 * x_{10} + 0,006 * x_{13} + U_1(0,0005 \frac{x_{12}}{x_1}) + U_2(-0,0001 \frac{x_4}{x_{12}}) +$$

$$+ U_3(-0,0004 \frac{x_{11}}{x_4}) + U_4(-0,0001 \frac{x_3}{x_1}) \leq 0,7$$

$$33 \leq 12,98 + x_1(5,668 \frac{1}{x_{10}}) + 3,179 * x_2 + x_3(-12,3 \frac{1}{x_{10}} + 0,118 * x_{11}) + 0,148 * x_{10} - 0,782 * x_{13} +$$

$$+ U_1(-0,035 \frac{x_1}{x_{10}}) + U_2(0,032 \frac{x_4}{x_{12}}) + U_3(0,034 \frac{x_1}{x_4}) - 0,002 * U_4 \leq 38$$

Виберемо об'єкта (таблиця 4.1) та розрахуємо для нього оптимальну стратегію лікування.

Таблиця 4.1

Показники об'єкту

Показник	Значення
Вік	49
НУНА	4
Час спостереження	24
КСО	130,68
ККР	5,2
ККА	3
ВЖТМ	87

Продовж. табл. 4.1

Показник	Значення
Лактат	2,7
ЮЛС	770,61
К-ть шунтів	3
CAT(1)	72
SvO2(1)	0,52
KY02(1)	36

Підставивши ці значення до наявних моделей, отримаємо наступний скорочений вигляд моделей оптимізації:

$$x_{18} = -11.155 + 0,128 * u_1 + 0,1133 * u_2 + (-0.584) * u_3 + (0.2299) * u_4$$

$$x_{19} = 72.078 + 0,1338 * u_1 + (-0,1493) * u_2 + (-0.5096) * u_3 + (-0,00146) * u_4$$

$$x_{20} = 0,6726 + 0,000367 * u_1 + (-0.000363) * u_2 + (-0.000001591) * u_3 + (-0,0000489) * u_4$$

$$x_{21} = 35.243 + (-0.02381) * u_1 + (0.1161) * u_2 + (0.01274) * u_3 + (-0,002) * u_4$$

За допомогою лінійного програмування та наявного програмного забезпечення, яке за допомогою симплекс-метода вирішує задачу оптимізації, розрахуємо лікувальну стратегію. Отримані значення занесемо в таблицю 4.2, для можливості порівняти реальні значення пацієнта які були, зі значеннями які розраховалися за допомогою моделей, та зробимо висновок щодо їх коректності.

Таблиця 4.2

Порівняння реальних та розрахункових значень

Змінна	Розрахункове значення	Реальне значення
Тривалість життя	65	24
Тривалість прийому ліків	135	67

Змінна	Розрахункове значення	Реальне значення
Доза препарату В	150	48
Доза препарату Б	0	0
Доза препарату А	120	69
САД ₄	72	73
SvO ₂ (4)	0,67	0,73
KyO ₂ (4)	45,6	39,3

За аналізом наведеної вище таблиці можна зробити висновок, що суттєва різниця наявна лише в значенні тривалості життя (збільшення на 41 місяць), це обумовлено тим, що значно зросла тривалість прийому майже в два рази та дози препаратів А та В, які увійшли в модель зі знаком плюс. Враховуючі ці фактори, можна зробити висновок, що моделі є коректними, а обрані за допомогою інтелектуального інтерфейсу межі обмежень дають повністю задовільний результат.

Висновки до розділу 4

В даному розділі дипломної роботи було реалізовано інтелектуальний інтерфейс, функціонал якого візуалізує багатовимірні функції регресії. Також було проаналізовано розраховані раніше моделі регресії на їх якісну адекватність, під час аналізу виявлено неадекватні моделі, які були перераховані, визначено доцільні межі обмежень для лікувальної стратегії конкретного об'єкта та вирішена задача оптимізації по максимізації тривалості життя пацієнта..

РОЗДІЛ 5

ОХОРОНА ПРАЦІ

У цьому розділі дипломного проекту приводяться робоче місце лікаря-хірурга, де на основі аналізів з лабораторії проводиться оптимізація лікування. Розглянуті норми для приміщення, пов'язані з охороною праці, через порушення яких можуть статися нещасні випадки, які призводять до загроз життєдіяльності.

5.1. Загальна характеристика приміщення

Параметри приміщення наведені в таблицях 5.1-5.2.

Таблиця.5.1

Параметри приміщення

№ п/п	Назва	Характеристики
1	Папараметри приміщення	4500x3200x2500 мм
2	Природне освітлення	Вікна 1 Steco 1500x1350 мм
3	Двері	1090x2100 мм
4	Кількість працюючих, n	2 (лікар, пацієнт)
5	Площа, S	14,40 м ²
6	Об'єм, V	36,00 м ³

Таблиця 5.2

Характеристика об'єктів приміщення

№	Назва	К-ть	Характеристики	Ном рис.
1	Ноутбук DELL KL485	1	Екран: Глянцевий 15.6 (1400x700) Напруга 220 В, 400x265x40 мм	1

					БС.52.25.1300.1404с.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		71

№	Назва	К-ть	Характеристики	Но м рис.
2	Багатофункціональний пристрій Зв1 Canon M5485	1	450 x 300 x 145 мм	2
3	Робочий стіл	1	1500x900x700	3
4	Робочий стілець	1	700x700x1200 мм	4
5	Урна для сміття	1	262x262x309 мм	5
6	Стілець	1	600x700x1000 мм	6
7	Раковина	1	500x400x1200 мм	14
8	Телефон Стаціонарний	1	Тип слухавки: Безпроводний	8
9	Настільна лампа	1	1200x700x700	9
10	Кушетка медичинська	1	2000x900x700 мм	10
11	Кондиціонер Toshiba RAS-22N3	1	Тип: спліт-система. Рекомендована площа приміщення: 18 кв.м. Холодо/Теплопроизв.: 1,76/1,85 кВт. 500x600x232 мм. Рівень шуму внутрішнього блоку: 36/34/32 дБ.	11
12	Стіл	1	1250x400x800 мм, дерев'яний	12
13	Шафа	1	1200x400x2000 мм, дерев'яна	13
14	Вогнегасник	1	420x150x150 Порошковий 10л ОПУ	7
15	Світильника	4	Світлодіодні 150*150	15
16	Автоматична ПС	1	Тепловий ИТМ	16

На рисунку 5.1. зображено схему кабінету лікаря.

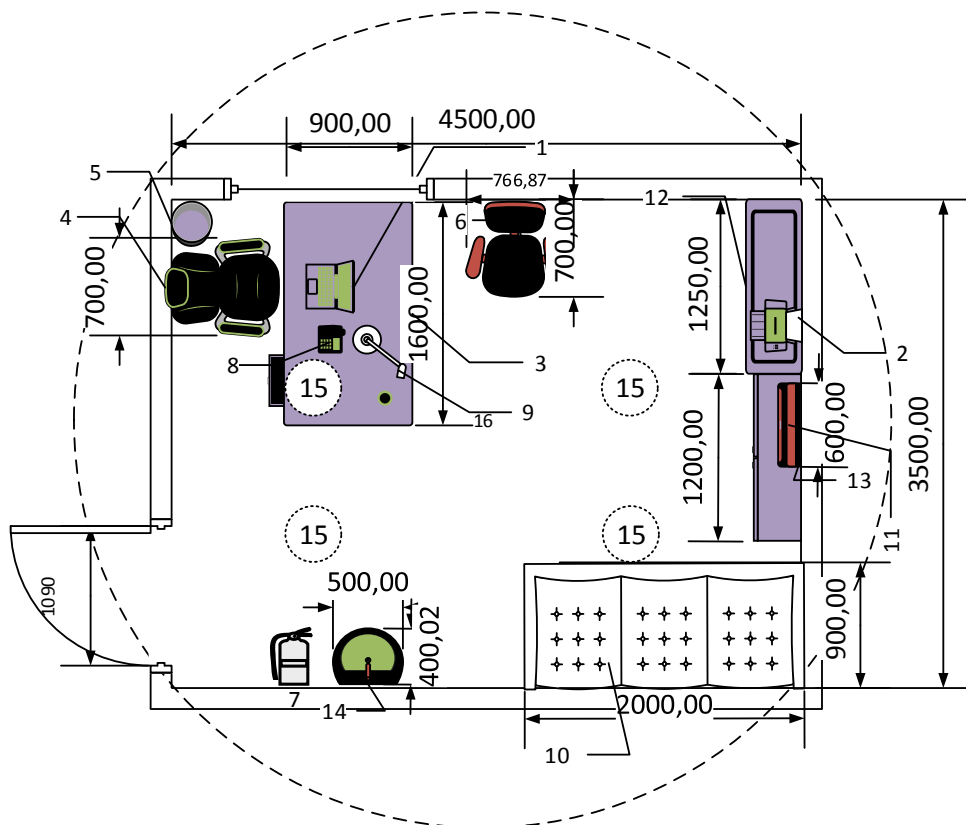


Рисунок 5.1. Схема кабінету.

Порівняємо реальні дані з нормативними значеннями, наведеними у таблиці 5.3.

Таблиця 5.3

Порівняння фактичних та нормативних характеристик

№	Параметр приміщення	Реальне значення	Нормативні значення
1	Площа на 1 працюючого	6,6 м ²	6 м ²
2.	Об'єм на 1 працюючого	21,9 м ³	20 м ³
3.	Мінімальна ширина проходу	1,5 м	1,5 м
4	Ширина дверного проходу	1 м	1 м

Порівнявши фактичні значення кабінету з нормативними параметрами, які зазначені в нормативному документі НАПБ Б.03.002-2007,

можна зробити висновок, що приміщення має задовільні параметри для нормальної роботи двох людей.

5.2. Оцінка потенційних небезпек і шкідливих виробничих факторів

У кабінеті є ряд шкідливих та небезпечних факторів, вплив яких на людину може призвести до різних небезпек, пов'язаних з її здоров'ям, які зазначені в таблиці 5.4.

Таблиця 5.4

Основні небезпечні та шкідливі фактори

№ п/п	Фізичні	Хімічні
1	Мікроклімат	Пил
2	Електронебезпека	Засоби дезінфекції
3	Пожежа	

В приміщенні виявлення небезпечні фактори, які складаються з фізичних (мікроклімату, електронебезпеки, пожежної небезпеки) та хімічних небезпек (пил та дезінфікуючі засоби, які використовуються для медичних приладів, після огляду пацієнта), але за умов дотримання заходів безпеки, вони не є критичними.

5.3. Мікроклімат

Даний вид роботи можна віднести до категорії Ia, з характером роботи в приміщенні, який є постійний. В таблиці 5.5 зазначено можливі джерела впливу на мікроклімат в даному кабінеті та до яких наслідків це може призвести.

Таблиця 5.5

Джерела впливу на мікроклімат в приміщенні

№	Джерело зміни показників	Наслідок
1	Висока температура повітря зовні	Напруженість та зменшеність працездатності працівника
2	Низька температура повітря зовні	Некомфортні умови праці для працівника
3	Підвищена рухливість повітряних мас	Захворювання працівників, збільшення кількості пилу.
4	Перегрів комп'ютера	Коротке замикання, вивід зі строю ноутбука.
5	Зовнішні фактори	Зменшення працездатності, напруженість.

Порівняльна характеристика стану приміщення за мікрокліматом реальних даних з нормативним значенням в теплу та холодну пору року, зазначено в таблиці 5.6

Таблиця 5.6

Джерела впливу на мікроклімат в приміщенні

Період року	Температура повітря, °C		Відносна вологість, %		Швидкість руху, м/с	
	Реал.зн	Норм.зн.	Норм.зн	Реал.зн	Норм.зн.	Реал.зн
Холодний	22	22-25	60- 40	50	0,1	0,1
Теплий	23	22-25	60 -40	55	0,1	0,1

Визначено ряд заходів для забезпечення нормалізації роботи в приміщенні та для запобігання нещасних випадків. Заходи наведені в таблиці 5.7

					БС.52.25.1300.1404с.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		75

Заходи для нормалізації показників мікроклімату

№	Заходи		Реалізація
1	Технічні	В техніці	- Підставка для охолодження ноутбука
		У приміщенні	Холодна пора року -Кондиціонер в режимі нагріву. Тепла пора року -Кондиціонер в режимі охолодження.
2	Організаційні		Введення додаткових перерв під час роботи, перегляд графіку роботи, скорочення робочої зміни.
3	ЗІЗ		Спец. одяг. відповідно до пори року

За санітарно-гігієнічним нормами ДСН 3.3.6.042-99 можна стверджувати, що основні характеристики мікроклімату відповідають встановленим нормам.

5.5. Хімічна небезпека

В кабінеті може знаходитися пил, що призводить до алергічних реакцій. Також після огляду пацієнта необхідно продезінфікувати медичні прилади, для чого використовуються хімікати, що може призвести до отруєння ними працівників.

Небезпечні та шкідливі виробничі речовини

№	Джерело	Наслідок при передозуванні
1	Паперовий пил	Алергічні реакції
2	Фенол	Зовнішні та внутрішні опіки, внутрішні кровотечі

Порівняння нормативних і реальних даних наведено в таблиці 5.11

Таблиця 5.11

Нормативні та реальні параметри хімічної безпеки

№	Характеристика	Нормативне значення	Реальне значення
1	ГДК фенолу	0,01 мг/м ³	0,005 мг/м ³
2	ГДК пил	4 мг/м ³	3 мг/м ³

В кабінеті необхідно дотримуватися наступних заходів безпеки.

Таблиця 5.12

Заходи для уникнення хімічних небезпек

№	Заходи	Реалізація
1	Технічні	Провітрювання приміщення
2	Організаційні	Проведення інструктажів із техніки безпеки, проведення прибирань із застосуванням хімікатів за годину до приходу працівників
3	Засоби індивідуального захисту	Рукавички, медичні халати

Дози хімічних речовин та пилу не перевищують норму, до того ж їх застосування є непостійним, тому при дотриманні правил техніки безпеки, небезпеки вони не становлять.

5.6. Пожежна безпека

Лікарня, де знаходиться кабінет, відноситься до II ступеня вогнестійкості, категорії В. Характеристика джерел небезпеки наведено в таблиці 5.13.

					БС.52.25.1300.1404с.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		77

Таблиця 5.13

Джерела небезпеки

№	Джерело небезпеки	Небезпечний фактор	Наслідок
1	Несправності електропроводки, розеток	Коротке замикання або пробій ізоляції	Виникнення пожежі, яка спричинить травматизм рацівників,
2	Щільність проводки	Оплавлення ізоляції	негативний вплив ЦНС,
№	Джерело небезпеки	Небезпечний фактор	серцево-судинній,
3	Загоряння будівлі внаслідок зовн. факторів	Виникнення пожежі чи вибуху	дихальній системам, можливі летальні випадки. Також
4	Недотримання заходів пожежної безпеки	Загоряння матеріалів, устаткування	знищення цінного устаткування, матеріалів

Характеристика пожежебезпеки зазначенв в таблиці 5.14

Таблиця 5.14

Характеристика приміщення

Класи та підкласи можливих пожеж	клас А (А1 та А2)	Горіння твердих речовин, що супроводжується та не супроводжуються тлінням
	клас Е	Горіння електроустановок під напругою
Групи горючості матеріалів і речовин, які присутні у даному приміщенні	Негорючі (неспалимі) та горючі (спалимі). Речовини, які здатні до самозагоряння у даному приміщенні відсутні.	
Категорія пожежної небезпеки приміщення	категорія В, зона класу П-ІІа	Простір у приміщенні, у якому знаходяться тверді горючі речовини та матеріали.

В приміщенні необхідні наступні засоби безпеки.

Таблиця 5.15

Засоби та заходи захисту від пожежі

Наслідок	Наслідок	Наслідок
1	Технічні	Порошкові вогнегасники ОПУ-10 Автоматичний ПС Тепловий ИТМ
2	Організаційні	Проведення інструктажів з пожежної охорони. Нагляд та контроль за додержанням правил пожежної безпеки. Перевірка техніки безпеки приміщення
3	Засоби індивідуального захисту	Респіратор та маски, захисний одяг
4	Режимні	Заборона використання відкритого вогню
5	Експлуатаційні	Огляд електричних пристроїв на їх здатність нормально працювати

Для забезпечення пожежної безпеки у приміщенні присутній вогнегасник та автоматична теплова протипожежна система.

Висновки до розділу 5

В цьому розділі дипломної роботи було розглянуто норми та заходи щодо охорони праці та техніки безпеки в кабінеті лікаря хірурга. Були проаналізовані можливі потенційні небезпеки та виробничі фактори на робочому місці, під час експлуатації технічного обладнання. Дане приміщення знаходяться в допустимих експлуатаційних значеннях по мікроклімату, електробезпеці, хімічній небезпеці, при дотриманні необхідної техніки безпеки. Також приміщення має належні параметри площі та об'єму.

РОЗДІЛ 6

ЕКОНОМІКА

6.1. Розрахунок трудомісткості програмного продукту

Із даних технічної літератури визначаємо припустимі, середні отримані та досягнуті значення параметрів (таблиця 6.1).

Таблиця 6.1

Основні параметри програми

Найменування параметра	Гранично припустиме значення	Значення параметра	
		Середнє отримане значення	Досягає значення
Час виконання однієї ітерації, мс	1000	400	200
Швидкість виводу інформації, Кб/с	130	250	300
Обсяг пам'яті, який займає програма на жорсткому диску, Мб	2	0,9	1,2
Обсяг оперативної пам'яті, який необхідний для роботи програми	128	30	80

У загальному випадку трудомісткість ПП розраховуємо по формулі:

$$T_0 = T_{pb} * K_n * K_{cl} * K_m * K_{ct} * K_{ct.n} * K_{test}$$

де T_0 - базова трудомісткість ПП,

K_n - коефіцієнт новизни програми,

K_{cl} - коефіцієнт складності вхідної й вихідної інформації,

K_m - коефіцієнт враховуюча мова програмування.

Кст- коефіцієнт враховуюче використання стандартних модулів і пакетів прикладних програм,

Кст.п - коефіцієнт враховуюче використання стандартного ПО,

Ктест- коефіцієнт враховуючий рівень тестування ПП.

На підставі таблиці визначимо загальну трудомісткість і трудомісткість тестування.

$$K_{п} = (0,72 \cdot 2 + 0,6 \cdot 1) / (2 + 1) = 0,758.$$

$$T_0 = 139,606 + 39.722 + 66,530 + 51.976 = 297.834$$

Що є показником досить великою трудомісткості, та значить потребує більше затрат, не враховуючи етапи тестування та впровадження системи. Для зменшення трудомісткості треба забезпечити роботи на більш швидкому та потужному обладнанні та змінити формат вхідних даних, який потребуватиме менше програмних затрат.

Висновки до розділу 6

Програма була написана з дослідницькою метою, тому вона потребує фінансових затрат на впровадження. Створення і підтримка системи візуалізації модельованих біологічних процесів є процес трудомісткий, проте він швидко себе окупить з економічної точки зору.

					БС.52.25.1300.1404с.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		81

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В ході дипломної роботи розглянуто розробку інтелектуального інтерфейсу системи оптимальних індивідуальних стратегій. Розглянуто вирішення проблем пов'язаних з моделюванням медико-біологічних систем за допомогою різних технологічних рішень у області інформаційних технологій.

1. Розроблено математичну модель для розрахунку оптимальної стратегії лікування на основі бази даних пацієнтів після АШК.

2. Розроблено інтелектуальний інтерфейс, функціонал якого дозволяє якісно оцінити адекватність та достовірність багатовимірних моделей регресії та приводить актуальне значення меж рівнянь-обмежень конкретного пацієнта.

3. Проведено аналіз якісної адекватності моделей для пацієнтів після АКШ за допомогою функціоналу інтелектуального інтерфейсу та за допомогою нього обрано значення обмежень.

4. Розраховано приклад оптимальної дози лікарських препаратів для пацієнта з АШК при максимізації тривалості життя після операції при обмеженні по кінцевим станам пацієнта.

В ході дипломної роботи було досягнуто всіх цілей, які були поставлені, та отримано робочий програмний продукт.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Комаров Ф. И. Болезни сердечно-сосудистой системы, ревматические болезни / Ф. И. Комаров, В. А. Насонова, Е. Е. Гогин. — 1996.
2. Алшибая М. М. Клиническая кардиология: диагностика и лечение / М. М. Алшибая. — 2011.
3. Александровский, Ю.А. Баркаган З. С. Федеральное руководство по использованию лекарственных средств. / З. С. Александровский, Ю.А. Баркаган, Ю. Н. Беленков, В. В. Богатырев, А. А. Бунятян. — 2007.
4. Самуры Б. А. Фармакотерапия. в 2 т. / Б. А. Самуры. — 2000.
5. Броди Т. Clinical trials chapter 2: clinical trial design, study design, endpoints and biomarkers, drug safety, and fda and ich guidelines / Т. Броди. — 2016.
6. Haslett C. Davidson's principles and practice of medicine / C. Haslett, E. R. Chilvers, J. A. Hunter, N. A. Boon. — Edinburg : 2001.
7. Кузьмич І. М. Порушення функції центральної нервової системи після операцій зі штучним кровообігом у пацієнтів з низькою фракцією викиду лівого шлуночка. аналіз клінічного досвіду / І. М. Кузьмич, Б. М. Тодуров, О. О. Тарабрін[et al.]. — 2015.
8. Абрамов Н. В. Информационные системы в медицине / Н. В. Абрамов. — 2008. — 171 p.
9. Королюк И. П. Медицинская информатика / И. П. Королюк. — 2012.
10. Bleich H. Designing a hospital information system: a comparison of interfaced and integrated systems / H. Bleich, W. Slack. — 1992. — 293 p.
11. Karson T. Visual integration. a new technology for the thinking physician / T. Karson. — 2000.
12. Littlejohns P. Evaluating computerised health information systems: hard lessons still to be learnt. / P. Littlejohns, J. Wyatt, L. Garvican. — 2003.
13. Iakovidis I. Towards personal health record: current situation, obstacles and trends in implementation of electronic healthcare record in europe. / I.

- Iakovidis. — 1998.
14. Малкін P. A. Barriers for medical devices for the developing world / P. A. Малкін. — 2007.
 15. Dorenfest S. The decade of the '90s: poor use of it investment contributes to the growing healthcare crisis / S. Dorenfest. — 2000.
 16. Wang S. A cost-benefit analysis of electronic medical records in primary care / S. Wang, B. Middleton, L. Prosser[et al.]. — 2003.
 17. Dick R. The computer- based patient record:an essential technology for health care / R. Dick. — 1991.
 18. Малкін P. A. Technologies for clinically relevant physiological measurements in developing countries. / P. A. Малкін. — 2007.
 19. Ash J. Physician order entry in u.s. hospitals / J. Ash, P. Gorman, W. Hersh. — 1998.
 20. Мандел Т. Разработка пользовательского интерфейса / Т. Мандел. — 2008.
 21. Marshall P. The effects of an electronic medical record on patient care: clinician attitudes in a large hmo / P. Marshall, H. Chin. — 1998.
 22. Сергеев С. . Введение в проектирование интеллектуальных интерфейсов: учебное пособие / С. . Сергеев, Н. А. Назаренко. — 2011. — 108 p.
 23. Haruki Y. Status and perspective of hospital information systems in japan. method inform med / Y. Haruki, Y. Ogushi, Y. Okada[et al.]. — 1999.
 24. Николаев А. Б. Интеллектуальные системы: учебное пособие / А. Б. Николаев. — 2012. — 271 p.
 25. Anderson J. Evaluating the impact of health care information systems. / J. Anderson, C. Aydin. — 1997.
 26. Рыбина Г. В. Основы построения интеллектуальных систем / Г. В. Рыбина. — 2010.
 27. Anderson J. Clearing the way for physicians' use of clinical information systems / J. Anderson. — 1997.

28. Могілев А. В. Інформатика / А. В. Могілев, Н. І. Пак, Е. К. Хённер. — 2004.
29. Tonnesen A. Electronic medical record implementation barriers encountered during implementation. / A. Tonnesen, A. LeMaistre, D. Tucker. — 1999. — 624 p.
30. Зенкин А. А. Когнитивная компьютерная графика / А. А. Зенкин. — 1991.
31. Вандер Плас Д. Python data science handbook: essential tools for working with data. / Д. Вандер Плас. — 2017.
32. Segaran T. Programming collective intelligence: building smart web 2.0 applications / T. Segaran. — 2009. — 368 p.
33. Vaingast S. Beginning python visualization: crafting visual transformation script / S. Vaingast. — 2009. — 384 p.
34. Downe A. B. Think python: how to think like a computer scientist / A. B. Downe. — 2002.
35. Malkin R. Design of health care technologies for the developing world / R. Malkin. — 2007.
36. Blaya J. A web-based laboratory information system to improve quality of care of tuberculosis patients in peru: functional requirements, implementation and usage statistics / J. Blaya, S. Shin, M. Yagui. — 2007.
37. Magnus M. Guidelines for effective integration of information technology in the care of hiv-infected populations / M. Magnus, J. Herwehe, R. Proescholdbell[et al.]. — 2007.
38. Ивахненко А. Г. Помехоустойчивость моделирования / А. Г. Ивахненко, В. С. Степашко. — 1985.
39. Лунгу К. Н. Высшая математика. руководство к решению задач. / К. Н. Лунгу. — 2005.
40. Дрейпер Н. Прикладной регрессионный анализ / Н. Дрейпер, Г. Смит. — 2007.

41. Стрижов В. В. Методы индуктивного порождения регрессионных моделей / В. В. Стрижов. — 2008.
42. Ivakhnenko A. G. The group method of data handling – a rival of the method of stochastic approximation / A. G. Ivakhnenko. — 1968.
43. Muller J. A. Self-organizing modelling in analysis and prediction of stock market / J. A. Muller, A. G. Ivakhnenko. — 1996.
44. Ivakhnenko A. G. Heuristic self-organization in problems of engineering cybernetics / A. G. Ivakhnenko. — 1970.
45. Ivakhnenko A. G. Sorting methods for modelling and clusterization (survey of the gmdh papers for the years 1983-1988). the present stage of gmdh development / A. G. Ivakhnenko. — 1988.
46. Vanin V. V Development and application of self-organization algorithms for modeling of com-plex processes and objects which are represented by the point former, proceed-ings of tавria state agrotechnical academy / V. V Vanin, A. V Pavlov. — 2004.
47. Арлоу Д. UML 2 и унифицированный процесс. практический и объектно-ориентированный анализ и проектирование / Д. Арлоу, А. Нейштадт. — 2007. — 617 p.
48. Вендров А. М. CASE-технологии. современные методы и средства проектирования информационных систем / А. М. Вендров. — 1998.
49. Розенберг Д. Применение объектно- ориентированного моделирования с использованием uml и анализ прецедентов / Д. Розенберг, К. Скотт. — 2002.
50. Якобсон А. Унифицированный процесс разработки программного обеспечения. / А. Якобсон, Г. Буч, Д. Рамбо. — 2002.

ДОДАТОК А

ISSN 2520-2057

МІЖНАРОДНИЙ НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ «ІНТЕРНАУКА»

INTERNATIONAL
SCIENTIFIC JOURNAL
«INTERNAUKA»

МЕЖДУНАРОДНЫЙ
НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
«ИНТЕРНАУКА»

№ 21 (61) / 2018
3 том



ЗМІСТ
CONTENTS
СОДЕРЖАНИЕ

ТЕХНІЧНІ НАУКИ

Бродкевич Володимир Михайлович, Ремесло Вячеслав Якович ВПРОВАДЖЕННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ І ГЛИБОКОГО НАВЧАННЯ НА ПІДПРИЄМСТВІ — ПОТОЧНІ ПРОБЛЕМИ ТА ВИКЛИКИ.....	7
Демченко Юлія Сергіївна, Якимчук Вікторія Сергіївна АНАЛІЗ ЗАСОБІВ ДЛЯ РОБОТИ З ДАНИМИ ТА ЇХ СИНХРОНІЗАЦІЯ	13
Карпетян Анаїт Радіківна, Левчик Альбіна Андріївна МОДЕЛЬ ПРЕДСТАВЛЕННЯ РОЗРАХУНКІВ ЧЕРЕЗ МЕХАНІЗМ БЛОКЧЕЙНУ	16
Кіблик Дмитро Олександрович ДОСЛІДЖЕННЯ ДЕГРАДАЦІЇ ПІД ВПЛИВОМ РАДІАЦІЇ НА HD-КАМЕРІ НА ОСНОВІ МАТРИЦІ CMOS.....	20
Кравчук Надія Миколаївна, Редько Олександр Дмитрович КАВБУЗ — ПЕРСПЕКТИВНА СИРОВИНА ДЛЯ СОЛОДКИХ СТРАВ.....	29
Мельник Вікторія Миколаївна, Ружинська Людмила Іванівна, Сорокін Едуард Геннадійович ВПЛИВ УЛЬТРАЗВУКУ НА ПРОЦЕС КРИСТАЛІЗАЦІЇ ЛИМОННОЇ КИСЛОТИ	35
Новохат Олег Анатолійович, Вишар Артем Сергійович ПРЕСОВА ЧАСТИНА ПАПЕРОРОВОЇ МАШИНИ.....	39
Павлов Володимир Анатолійович, Носовець Олена Костянтинівна, Давидько Олександр Богданович, Дяк Андрій Ігорович, Шапошник Ольга Геннадіївна ЗМІШАНО-ЦІЛОЧИСЕЛЬНА ЗАДАЧА ОПТИМІЗАЦІЇ ЛІКУВАЛЬНОЇ СТРАТЕГІЇ	42
Плосконос Віктор Григорович ВИКОРИСТАННЯ КОМП'ЮТЕРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ В РОЗРОБЦІ ПЛАНІВ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ СКЛАДНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ ВИРОБНИЦТВА ПАПЕРУ ТА КАРТОНУ	50
Саченко Анатолій Олексійович, Золотухін Денис Васильович МЕТОДИ ТА АЛГОРИТМ РОЗРОБКИ 3D МОДЕЛІ ДЛЯ ВІДЕОЗОБРАЖЕНЬ	55
Скрипченко Олександр Васильович РОЗРОБКА ЗАРЯДНОГО ПРИСТРОЮ ДЛЯ ЛІТІЙ-ІОННОГО ТА ЛІТІЙ-ПОЛІМЕРНОГО АКБ З РЕЖИМОМ ЗАРЯДЖАННЯ РЕВЕРСИВНИМ СТРУМОМ	58

УДК 004.02+616.1

Павлов Володимир Анатолійович
кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри біомедичної кібернетики
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Павлов Владимир Анатольевич
кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры биомедицинской кибернетики
Национальный технический университет Украины
«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»
Pavlov Vladimir
Candidate of Technical Sciences, Docent,
Associate Professor of the Department of Biomedical Cybernetics
National Technical University of Ukraine
«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

Носовець Олена Костянтинівна
кандидат технічних наук,
доцент кафедри біомедичної кібернетики
Національний технічний університет України «Київський
політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Носовец Елена Константиновна
кандидат технических наук,
доцент кафедры биомедицинской кибернетики
Национальный технический университет Украины
«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»
Nosovets Olena
Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor of the Department of Biomedical Cybernetics
National Technical University of Ukraine
«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

Давидько Олександр Богданович
магістрант
Національного технічного університету України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Давидько Александр Богданович
магистрант
Национального технического университета Украины
«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»
Davydko Oleksandr
Master Student of the
National Technical University of Ukraine
«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

Дяк Андрій Ігорович
студент
Національного технічного університету України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Дяк Андрей Игоревич
студент
Национального технического университета Украины
«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»

Diak Andrii

Student of the

National Technical University of Ukraine

«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

Шапошник Ольга Геннадіївна

студент

Національного технічного університету України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Шапошник Ольга Геннадьевна

студент

Национального технического университета Украины

«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»

Shaposhnyk Olha

Student of the

National Technical University of Ukraine

«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

ЗМІШАНО-ЦІЛОЧИСЕЛЬНА ЗАДАЧА ОПТИМІЗАЦІЇ ЛІКУВАЛЬНОЇ СТРАТЕГІЇ

СМЕШАННО-ЦЕЛОЧИСЛЕННАЯ ЗАДАЧА ОПТИМИЗАЦИИ ЛЕЧЕБНОЙ СТРАТЕГИИ

MIXED-INTEGER OPTIMIZATION PROBLEM OF TREATMENT STRATEGY

Анотація. В роботі розглянуто персоніфікований розрахунок лікувальної стратегії. Модель прогнозу стану об'єкту допускає нелінійну залежність від його початкового стану та параметрів об'єкту. Задача оптимізації після підстановки початкового стану пацієнта та його параметрів приймає вид лінійної змішано-цілочисельної задачі. Розглянуто приклад розрахунку оптимальної стратегії.

Ключові слова: оптимізація, змішано-цілочисельне лінійне програмування, моделювання, прогнозування, початковий стан об'єкту, лікувальна стратегія.

Аннотация. В работе рассмотрен персонифицированный расчет линейной лечебной стратегии. Модель прогноза состояния объекта допускает нелинейную зависимость от его начального состояния. Задача оптимизации после подстановки начального состояния пациента и его параметров принимает вид линейной смешанно-целочисленной задачи. Рассмотрен пример расчета оптимальной стратегии.

Ключевые слова: оптимизация, смешанно-целочисленное линейное программирование, моделирование, прогнозирование, начальное состояние объекта, лечебная стратегия.

Summary. A personalized calculation of linear treatment strategy is considered. The forecast model admits a nonlinear dependence on initial state and parameters of object. After the substitution of the initial state and parameters of the patient the optimization task takes the form of a linear mixed-integer problem. An example of an optimal treatment strategy calculation is considered.

Key words: optimization, mixed integer linear programming, modeling, forecasting, the initial state of object, treatment strategy.

Постановка проблеми. Подання задач оптимального управління і задач прийняття рішень в еквівалентному вигляді задачами математичного програмування досить відомо. Зазначимо, монографію [1], де розглянуто загальний підхід для такого представлення. Однак, в кожній конкретній задачі управління або прийняття рішень з'являється свій привід для розгляду окремих оптимізаційних моделей, що дозволяють знаходити компроміс між обчислювальними ресурсами що використовуються, точністю рішення, часом розрахунку. Такі моделі дозволяють виявити можливості для поліпшення результатів розрахунків, що робить доцільним їх розгляд для практичного застосування.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідження складають праці таких фахівців, як О.І. Шелудько [3], В.В. Ванін, О.В. Павлов [4], А.В. Павлов [5].

Мета дослідження: розробити програмний комплекс вирішення проблеми переходу від суттєво-математичного формалізму практичної задачі оптимізації до вхідного формалізму програмного інструменту вирішення задач оптимізації змішано-цілочисельного лінійного класу.

Виклад основного матеріалу. Припустимо, що змістова постановка задачі прийняття рішення описує статистичними даними стан об'єкту до застосування управлінського рішення — підматрицею X^b , початкове значення критеріальної змінної — вектором Q^b , відомі управлінські рішення, що застосовано — підматрицею U , кінцевий стан об'єкту отриманий, внаслідок застосування управлінських рішень — підматрицею X^e та якість стану об'єкту, що було досягнуто — вектором Q^e , то зазначена статистика може бути подана блочною матрицею об'єкт-властивості X :

$$X = [X^b | I^b | U | X^e | Q^e] \quad (1)$$

Будемо далі формувати функціонал і обмеження оптимізаційної задачі таким чином, щоб не вийти за межі класу лінійних змішано-цілочисельних задач. При цьому, використовуючи (1), ми можемо моделювати для кожної змінної кінцевого стану x_i^e та критеріальної змінної q^e , нелінійні співвідношення-моделі вигляду:

$$x_i^e = f(q^b, x^b) + a_i \cdot u + a_{0i}, \quad q^e = f'(q^b, x^b) + c_u \cdot u + c_0 \quad (2)$$

Тоді можливо записати оптимізаційну задачу у наступному вигляді:

$$\begin{cases} \min_u q^e = \min_u f'(q^b, x^b) + c_u \cdot u + c_0 \\ x_i^e = f_i(q^b, x^b) + a_i \cdot u + a_{0i} \\ \dots\dots\dots \\ x_m^e = f_m(q^b, x^b) + a_m \cdot u + a_{0m} \\ f^*(q^b, x^b) + b_x^* x^e + b_u \cdot u + b_0 \leq 0 \end{cases} \quad (3)$$

де деякі з управлінь u можуть приймати тільки цілочисельні значення.

Тут принципово важливо те, що в оптимізаційній задачі для конкретного стану передісторії об'єкту ми не виходимо за рамки ЗЦЛП задачі.

Дійсно, оскільки рядки підматриць X^b , Q^b відомі нам, як стан об'єкту до оптимізації, то підставляючи конкретні її значення у моделі, що отримано, ми замість нелінійних членів маємо відповідні константи, що налаштовують моделі на його передісторію. Сама ж задача оптимізації (3) після такої підстановки має лінійний вигляд (4).

$$\begin{cases} \min_u q^e = \min_u c_u \cdot u + c_0 \\ x_i^e = a_i \cdot u + a_{0i} \\ \dots\dots\dots \\ x_m^e = a_m \cdot u + a_{0m} \\ b_x^* x^e + b_u \cdot u + b_0 \leq 0 \end{cases} \quad (4)$$

Задачі (3,4) можуть бути використані для прийняття оптимальних рішень в разі достатнього рівня адекватності подання реакцій об'єкту статистичними моделями виду (2).

Задача розрахунку оптимального керуючого впливу може бути приведена до вигляду (4) не тільки при наявності матриці (1) спостережень за одним і тим же об'єктом, але і при наявності статистики для множини досить однорідних об'єктів: статистика подається матрицею об'єкт-властивості:

$$X = [X^b | I^b | X^e | Q^e | U] \quad (5)$$

Однорідність розуміється в сенсі можливості подання адекватними статистичними моделями співвідношень (2) за даними матриці об'єкт-властивості (5), де відповідні рядки матриці X відносяться вже не до різних варіантів переходу одного і того ж об'єкта з різних початкових станів у відповідні кінцеві, а описують перехід з деякого початкового стану в кінцевий для різних об'єктів. У такому випадку для врахування особливостей кожного об'єкту матриця об'єкт-властивості доцільно розширюється за рахунок врахування характерних параметрів об'єктів, що досліджуються. Блочна матриця вихідних даних завдання тоді має вигляд:

$$X = [X^b | X^b | I^b | X^e | Q^e | U] \quad (6)$$

$$\text{де } X^p = \begin{bmatrix} x_{11}^p & \dots & x_{1g}^p \\ \dots & \dots & \dots \\ x_{n1}^p & \dots & x_{ng}^p \end{bmatrix},$$

та де кожний рядок підматриці X^p містить g характерних параметрів відповідного об'єкту.

Вид задачі оптимізації при цьому практично не змінюється, а в співвідношення (2) додаються члени моделі, що пов'язані зі характерними параметрами об'єкту.

$$\begin{aligned} x_i^e &= f(q^b, x^b, x^p) + a_i \cdot u + a_{0i} \\ q^e &= f'(q^b, x^b, x^p) + c_u \cdot u + c_0 \end{aligned} \quad (7)$$

Відповідна задача оптимізації при цьому набуває вигляду:

$$\begin{cases} \min_u q^e = \min_u f'(q^b, x^b, x^p) + c_u \cdot u + c \\ x_1^e = f_1(q^b, x^b, x^p) + a_1 \cdot u + a_{01} \\ \dots\dots\dots \\ x_m^e = f_m(q^b, x^b, x^p) + a_m \cdot u + a_{0m} \\ f^*(q^b, x^b, x^p) + b_x^e x^e + b_u \cdot u + b_0 \leq 0 \end{cases} \quad (8)$$

При необхідності оптимізаційного розрахунку керуючих впливів для деякого об'єкту, в наявній моделі виду (7) підставляються значення його передісторії (x^b, q^b) і параметри x^p , тим самим ми підстроюємо систему обмежень на передісторію і параметри об'єкта, для якого будемо шукати оптимальне значення керуючих змінних. Задача (8) при цьому приймає лінійний вид щодо змінних, що розраховуються, аналогічний (4). В результаті, підхід, що ми розглянули, дозволяє формувати частково нелінійні моделі для опису процесів, що досліджуються, тим самим збільшуючи точність прогнозу наших моделей і в той же час не ми виходимо на етапі оптимізації з класу ЗЦЛП задач.

Інтерес до прикладних задач того виду, що було розглянуто, викликаний тим, що в разі можливості подання реакції біологічного об'єкта у вигляді

такої дискретної моделі виникає можливість не тільки оптимізувати процес клінічних випробувань в процесі самого випробування, але і відкривається можливість індивідуальних налаштувань лікарських впливів для конкретного об'єкта з урахуванням його індивідуальних параметрів і стану перед лікувальним періодом.

В якості прикладу було обрано пошук оптимальної стратегії проведення операції та лікування хворого у післяопераційний період, після виконання операції аортокоронарного шунтування. База даних налічує 129 записів, кожен з яких відповідає окремому пацієнтові та 271 змінну. Для даного дослідження з них було відібрано 21 (табл. 1).

Дані подано у вигляді матриці X об'єкт-властивості, де кожен об'єкт (рядок) описано набором властивостей (стовпці). Матриця містить інформацію про стан об'єктів до та після застосування лікувальної дії. Таким чином, можемо її подати у вигляді блокової матриці, подібної (6), де $X^p = (X1, \dots, X9)$ — підматриця параметрів, $X^b = (X10, X11, X12)$ — підматриця станів до застосування управління, $X^e = (X13, X14, X15)$ — підматриця станів після застосування управління, I — вектор значень критеріальної змінної після лікування, $U = (U1, \dots, U5)$ — підматриця дозувань лікувальних препаратів, що застосовано.

Таблиця 1

Застосовані у дослідженні змінні

Позначення	Атрибут	Короткий опис
X1	Возраст	вік пацієнта
X2	Время наблюдения	час, який пацієнт провів під лікарським наглядом
X3	NYHA	функціональний клас хворого на серцеву недостатність
X4	КСО	кінцевий систолічний об'єм при госпіталізації пацієнта
X5	КСР	кінцевий систолічний розмір при госпіталізації пацієнта
X6	К-во КА	кількість коарктованих артерій
X7	Жизнеспособный миокард	відсоток життєздатних тканин міокарду
X8	Лактат	частка солей молочної кислоти у крові пацієнта при госпіталізації
X9	ИСЛС	систолічний тиск при госпіталізації
X10	САД1	сатурація гемоглобіну змішаної венозної крові киснем при госпіталізації
X11	SvO2	коефіцієнт утилізації кисню при госпіталізації
X12	KVO2	коефіцієнт утилізації кисню при госпіталізації
X13	САД4	систолічний тиск після операції та лікування.
X14	SvO2(4)	сатурація гемоглобіну змішаної венозної крові киснем після операції та подальшого лікування.
X15	KVO2(4)	коефіцієнт утилізації кисню після операції та подальшого лікування.
U1	К-во шунтов	кількість аортокоронарних шунтів, що були імплантовані пацієнтові під час операції
U2	Длительность	час прийому препаратів після операції
U3	Эфедрин	доза препарату «Ефедрин»
U4	Фенамин	доза фенаміну
U5	Тирамин	доза тираміну
I	Продолжительность жизни	Тривалість життя пацієнта після операції



На даному етапі задача сформована у вигляді (13). Наступним кроком перетворимо (13) до її часткового виду, налаштованого на конкретний об'єкт. Для цього було обрано об'єкт з такими показниками X^b та X^b : $\text{Возраст} = 73$, $\text{НУНА} = 4$, $\text{Время наблюдения} = 36$, $\text{КСО госпит} = 151.2$, $\text{КСР-госпит} = 5.5$, $\text{К-во КА} = 4$, $\text{Жизнеспособный миокард} = 85$, $\text{Лактат} = 1.2$, $\text{ИСЛС} = 420$, $\text{САД1} = 78$, $\text{SvO2(1)} = 0.62$, $\text{КУО2(1)} = 37.3737374$, $\text{К-во шунтов} = 4$, $\text{Длительность} = 70$, $\text{Эфедрин} = 0$, $\text{Фенамин} = 0$, $\text{Тирамин} = 240$, $\text{Продолжительность жизни} = 26$, $\text{САД4} = 85$, $\text{SvO2(4)} = 0.72$, $\text{КУО2(4)} = 28.847465$. Після налаштування, вирази моделей набудуть такого вигляду:

$$\begin{aligned} \max I = & 1.925667272727273 * U1 + \\ & + 0.01769761904761906 * U2 - \\ & - 0.02578395721925134 * U3 - \\ & - 0.003562288477034648 * U4 + \\ & + 0.038853788428951826 * U5 + \\ & + 17.505772056992164 \\ 18 \leq & -1.0461789312804257 * U1 + \\ & + 0.1608568750269815 * U2 - \\ & - 0.004434785132269227 * U3 - \\ & - 0.027288881789698977 * U4 - \\ & - 0.0911995507044661 * U5 + \\ & + 69.23403424657535 \leq 81 \\ 0.35 \leq & 0.00576147864287059 * U1 + \\ & + 0.00022092097619377164 * U2 - \\ & - 0.0003456 * U3 - 2.9276783509512 * U4 + \\ & + 0.000007919665051903115 * U5 + \\ & + 0.5151826656312157 \leq 0.99 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 21 \leq & -0.03142857142857147 * U1 + \\ & + 0.028529680365296795 * U2 + \\ & + 0.000060343252595155704 * U3 - \\ & - 0.04655998269896194 * U4 - \\ & - 0.00730878323932313 * U5 + \\ & + 25.895837899543377 \leq 50 \end{aligned}$$

Для зручності роботи з задачами того типу, що було розглянуто, була розроблена спеціалізована програмна система. Система дозволяє в інтерактивному режимі вводити повні вирази моделей, що визначають цільову функцію та кінцеві стани об'єкту в зручних для оператора позначеннях, формувати обмеження, підставляти в них значення передісторії, параметрів об'єкту, розраховувати вхідні параметри для ЗЦЛП задачі. Оператор формує оптимізаційні задачі в зручних для себе позначеннях, паралельно до визначає їх системою змінних для структури даних програмного інструменту оптимізації. Після завершення введення формалізмів оптимізаційної задачі проводиться підстановка в неї параметрів і початкових умов стану об'єкту. Система формує підсумкову лінійну форму та визначає параметри для структури даних на вході програмного інструменту вирішення ЗЦЛП задачі. Потім відбувається розрахунок оптимального рішення.

Проілюструємо вищесказане: вигляд інтерфейсу системи у браузері зображено на рис. 1.

Вводимо в систему інформацію про змінні, що відносяться до підматриці X^b і U . Формуємо цільову функцію I та набір обмежень. Моделі кінцевих станів формують набір обмежень для кінцевого стану об'єкту — помістимо вирази відповідних моделей у подвійні нерівності, що обмежують їх значення (рис. 2).

Тепер здійснимо налаштування вільного члену моделей на передісторію конкретного об'єкту. Для



Рис. 1. Початок роботи з системою
Джерело: розробка автора

TARGET FUNCTION

$$\max f = 1 \cdot X_1 \cdot (0.221 \cdot X_6^{-1}) - 1.501 \cdot X_2 + 1 \cdot X_3 \cdot (1.669 \cdot X_5^{-1} - 1.855 \cdot X_1^{-1}) + 1 \cdot X_5 \cdot (28.822 \cdot X_7^{-1}) + 1 \cdot U_1 \cdot (0.357 \cdot X_3 + 1 \cdot X_5^{-1} - 0.663 \cdot X_{11}) + 1 \cdot U_2 \cdot (-1.053 \cdot X_3/1 + X_9 + 45.341 \cdot X_9^{-1}) + 1 \cdot U_3 \cdot (-0.035 \cdot X_6/1 + X_5^{-1} - 0.007 \cdot X_6/1 \cdot X_7) + 1 \cdot U_4 \cdot (0.037 \cdot X_3/1 + X_7 - 1.17 \cdot X_8/1 \cdot X_1) + 1 \cdot U_5 \cdot (0.166 \cdot X_3/1 \cdot X_4 + 1 \cdot X_{11}/1 - 6.120 \cdot X_4) + 7.602$$

CONSTRAINTS

САД

$$18 \leq 0.206 \cdot X_5^2 + 1 \cdot X_6 \cdot (-67.205 \cdot X_1^{-1}) + 1 \cdot U_1 \cdot (-31.684 \cdot X_5^{-2} + 1 \cdot X_3^{-1} \cdot 3.222 \cdot X_1^{-1}) + 1 \cdot U_2 \cdot (1 \cdot X_7 \cdot 0.110 \cdot X_{12}^{-1} + 1 \cdot X_1 \cdot -0.185 \cdot X_4^{-1}) + 1 \cdot U_3 \cdot (-141.249 \cdot X_7^{-2} + 1 \cdot X_7^{-1} \cdot 1.264 \cdot X_{11}^{-1}) + 1 \cdot U_4 \cdot (1 \cdot X_4 \cdot -0.007 \cdot X_{12}^{-1} + 1 \cdot X_7^{-1} \cdot 6.832 \cdot X_{10}^{-1}) + 1 \cdot U_5 \cdot (1 \cdot X_5^{-1} \cdot -0.602 \cdot X_8^{-1} + 1 \cdot X_7^{-1} \cdot 0.078 \cdot X_1^{-1}) + 66.685 \leq 81$$

SvO2

$$0.35 \leq 1 \cdot X_{12} \cdot (-0.458152 \cdot X_7^{-1} - 0.0017336 \cdot X_8^{-1}) + 1 \cdot U_1 \cdot (1 \cdot X_{11} \cdot 0.0152271 \cdot X_8^{-1} + 1 \cdot X_{12} \cdot -0.0047894 \cdot X_7^{-1}) + 1 \cdot U_2 \cdot (-0.3082337 \cdot X_7^{-2} + 0.0006857 \cdot X_{11}^2) + 1 \cdot U_3 \cdot (-0.0000216 \cdot X_6^2) + 1 \cdot U_4 \cdot (1 \cdot X_1 \cdot -0.04813008 \cdot X_8^{-1} + 1 \cdot X_{10}^{-1} \cdot 0.0113573 \cdot X_{11}^{-1}) + 1 \cdot U_5 \cdot (0.10506064 \cdot X_7^{-2} + 1 \cdot X_8 \cdot -0.0000089 \cdot X_{11}) + 0.7706206 \leq 0.99$$

KyO2

$$21 \leq 1 \cdot X_7 \cdot (-14.963 \cdot X_{10}^{-1} - 3.944 \cdot X_1^{-1}) + 1 \cdot U_1 \cdot (0.01 \cdot X_1 + 1 \cdot X_{10} \cdot -4.100 \cdot X_9^{-1}) + 1 \cdot U_2 \cdot (1 \cdot X_{11} \cdot -0.080 \cdot X_8^{-1} + 1 \cdot X_7 \cdot 0.060 \cdot X_1^{-1}) + 1 \cdot U_3 \cdot (1 \cdot X_9 \cdot -0.0000686 \cdot X_7^{-1} + 2.885 \cdot X_7^{-2}) + 1 \cdot U_4 \cdot (1 \cdot X_5 \cdot -0.037 \cdot X_6^{-1} + 31.176 \cdot X_7^{-2}) + 1 \cdot U_5 \cdot (1 \cdot X_3 \cdot -0.042 \cdot X_7^{-1} + 1 \cdot X_7 \cdot 0.009 \cdot X_1^{-1}) + 46.794 \leq 50$$

Рис. 2. Сформована задача оптимізації

Джерело: розробка автора

TARGET FUNCTION

$$\max f = 1.925667272727273 \cdot U_1 + 0.01769761904761906 \cdot U_2 - 0.02578395721925134 \cdot U_3 - 0.003562288477034648 \cdot U_4 + 0.038853788428951826 \cdot U_5 + 17.505772056992164$$

CONSTRAINTS

САД

$$18 \leq -1.0461789312804257 \cdot U_1 + 0.1608568750269815 \cdot U_2 + 0.004434785132269227 \cdot U_3 - 0.027288881789698977 \cdot U_4 - 0.0911995507044661 \cdot U_5 + 69.23403424657535 \leq 81$$

SvO2

$$0.35 \leq 0.00576147864287059 \cdot U_1 + 0.00022092097619377164 \cdot U_2 - 0.0003456 \cdot U_3 - 2.9276783509512 \cdot U_4 + 0.000007919665051903115 \cdot U_5 + 0.5151826656312157 \leq 0.99$$

KyO2

$$21 \leq -0.03142857142857147 \cdot U_1 + 0.028529680365296795 \cdot U_2 + 0.000060343252595155704 \cdot U_3 - 0.0465598269896194 \cdot U_4 - 0.00730878323932313 \cdot U_5 + 25.895837899543377 \leq 50$$

Рис. 3. Налаштування моделей на об'єкт

Джерело: розробка автора

CALCULATION RESULT	
Optimization status:	Optimal
Target function value:	40.73715335381506
Длительность	241.7351
Количествоитов	5
Тиамин	240
Фенамин	0
Эфедрин	0
САД4	81.00000019143623
SvO2(4)	0.5992951327303244
KyO2(4)	30.881212201036025

Рис. 4. Результати розрахунку

Джерело: розробка автора

цього використаємо значення атрибутів X^b для, наприклад, першого рядка і підставимо їх у моделі. В результаті будемо мати рис. 3.

Після виконання розрахунків, сервер повертає інформацію: статус, оптимальні значення змінних управління і кінцеві значення змінних стану (рис. 4).

Результати, що отримано задовольняють встановленим обмеженням, розраховано оптимальні значення для змінної критерію і змінних управління. У таблиці 3 наведена порівняльна характеристика розрахованих даних та реальних значень.

Висновки. Розрахунок лікувальної стратегії представлено, як задача оптимізації прогнозу стану об'єкту, що подається дискретними, лінійними за управліннями, моделями. Моделі кінцевих станів описуються, як нелінійні за початковими станами об'єкту та лінійно-цілочисельні за управліннями, що дозволяє підвищити точність прогнозу моделей і не вийти з класу ЗЦЛП задач в задачі оптимізації.

ЗМІСТ

<i>Артеменко В.Б., Артищук І.В., Гудзовата О.О.</i> Моделювання веб-аналітики у системах управління дистанційним навчанням	5
<i>Вісікірський В.А.</i> Моделювання, оцінювання та оптимізація динаміки росту дерев, зрощуваних стічними водами	13
<i>Волощук Р.В.</i> Опис програмного комплексу інтегрального оцінювання стану економічної безпеки держави в системі Excel.....	32
<i>Зосімов В.В.</i> Застосування кластерного аналізу для відсіювання пошукового спаму	47
<i>Кружнова С.Ю., Фурсина А.Д.</i> Использование экспертных систем при прогнозировании остаточного ресурса мостовых кранов.....	57
<i>Мороз О.Г.</i> Оцінка обчислювальної складності комбінаторно-генетичного алгоритму КОМБІ-ГА	65
<i>Носовець О.К., Якимчук В.С., Павлов В.А.</i> Прогнозування значень z-score неоаортального кореня після проведеного хірургічного лікування	72
<i>Павлов В.А., Носовець О.К., Давидько А.Б., Шапошник О.Г., Дяк А.І.</i> Лінійні моделі оптимізації прогнозу стану пацієнта з нелінійними за початковими умовами параметрами.....	82
<i>Ревунова О.Г.</i> Інформаційна технологія стійкого відновлення сигналів за результатами непрямих вимірювань	92
Автори випуску	103

УДК 004.891.3: 51-76: 616.12-07

ЛІНІЙНІ МОДЕЛІ ОПТИМІЗАЦІЇ ПРОГНОЗУ СТАНУ ПАЦІЄНТА З НЕЛІНІЙНИМИ ЗА ПОЧАТКОВИМИ УМОВАМИ ПАРАМЕТРАМИ

В.А. Павлов, О.К. Носовець, А.Б. Давидько, О.Г. Шапошник, А.І. Дяк

*Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»*

*pavlov.vladimir264@gmail.com, o.nosovets@gmail.com, alexander.davydko@gmail.com,
O.shaposhnyk15@gmail.com, andryukha.dyak@gmail.com*

В роботі формалізується розрахунок лікувальної стратегії для конкретного пацієнта, як рішення лінійної оптимізаційної задачі. Таке завдання формується із загальних моделей стану пацієнтів, визначених за даними моніторингу лікування в клінічній практиці. З метою підвищення адекватності розрахунку розглядаються оптимальної складності моделі, нелінійні щодо початкових умов та параметрів пацієнта. Наведено приклад розрахунку.

Ключові слова: моніторинг, клінічні випробування, лікувальна стратегія, модель оптимальної складності, лінійне програмування, персоналізований розрахунок, метод групового урахування аргументів

The paper formalizes the calculation of the treatment strategy for a particular patient as a solution to a linear optimization problem. This task is formed from the general models of patients' states, determined by the patient treatment monitoring data in clinical practice. In order to improve the calculation adequacy, the optimal complexity models, nonlinear relative to the initial conditions and the patient parameters are constructed. An example of calculation is given.

Keywords: monitoring, clinical trials, treatment strategy, optimal complexity model, linear programming, personalized calculation, Group Method of Data Handling

В работе формализуется расчет лечебной стратегии для конкретного пациента, как решение линейной оптимизационной задачи. Такая задача формируется из общих моделей состояния пациентов, определенных по данным мониторинга лечения пациента в клинической практике. С целью повышения адекватности расчета рассматриваются оптимальной сложности модели, нелинейные относительно начальных условий и параметров пациента. Приведен пример расчета.

Ключевые слова: мониторинг, клинические испытания, лечебная стратегия, модель оптимальной сложности, линейное программирование, персонафицированный расчет, метод группового учета аргументов

1. Вступ

Актуальність розробки персоналізованих варіантів лікувального процесу відповідно до параметрів та стартових умов пацієнта є очевидною. Такі завдання можуть бути сформульовані як задачі оптимізації значень лікувальних впливів, прийняття рішень, задач оптимального управління, які в свою чергу еквівалентно подаються у вигляді задач математичного програмування різного рівня складності [1-3]. Особливий інтерес представляють випадки, коли можуть бути отримані адекватні, при цьому лінійні щодо керуючих впливів, моделі, зважаючи на можливість в подальшому застосувати ефективний

обчислювальний апарат рішення таких задач [4-6] – методи вирішення завдань лінійного програмування. Однак отримання адекватних моделей стикається тут з проблемою відсутності, як правило, експериментальних даних з достатнім рівнем варіабельності керуючих змінних. Такі проблеми виникають через специфіку методики клінічних випробувань орієнтованої, як правило, на доказ факту значущості лікувального ефекту у вибірці [7], а не на отримання даних експерименту, що забезпечують найкращу адекватність моделей. В результаті при визначенні можливості оптимізації розрахунку лікувальних впливів для конкретного пацієнта дослідники змушені спиратися або на зазначені дані клінічних випробувань, або на дані моніторингу застосування лікувального процесу в клінічній практиці [8].

Одним з можливих механізмів підвищення ступеня адекватності розрахунку в зазначених умовах є використання механізму налаштування оптимізаційних моделей до конкретних умов застосування препаратів: параметрів та початкового стану даного пацієнта. Зазначимо, що конкретні параметри і початкові значення стану пацієнтів після підстановки в модель перетворюються в фіксовані значення параметрів моделі. Це надає можливість з метою підвищення ступеня адекватності персоніфікованого розрахунку шукати нелінійні структури моделей оптимальної складності за вказаними змінними. Завдання оптимізації лікувальної стратегії пацієнта при цьому можуть зберегти лінійний вигляд, якщо впливи, що управляють лікувальним процесом включено в моделі критерію і станів об'єкта лінійно. Для побудови моделей оптимальної структури природно застосовувати алгоритми методів групового урахування аргументів МГґУА [9]. Нижче реалізуємо сформульований підхід.

2. Виклад основного матеріалу

Відзначимо початкові (begin) значення змінних стану пацієнта індексом "b" та кінцеві (end) індексом "e". Тоді блокова матриця \mathbf{X} , що подає статистичні дані опису задачі прийняття управлінських рішень, містить блоки: \mathbf{X}^b – матриця початкових значень змінних стану об'єкта, \mathbf{Q}^b – вектор початкових значень критеріальної змінної, \mathbf{X}^e – матриця кінцевих значень змінних стану об'єкта, \mathbf{Q}^e – вектор кінцевих значень критеріальної змінної, блок \mathbf{U} – матриця відомих управлінських рішень, що переводять об'єкт зі станів \mathbf{X}^b з критеріальними значеннями \mathbf{Q}^b в кінцеві стани \mathbf{X}^e з критеріальними значеннями \mathbf{Q}^e :

$$\mathbf{X} = [\mathbf{X}^b | \mathbf{Q}^b | \mathbf{X}^e | \mathbf{Q}^e | \mathbf{U}], \quad (1)$$

де

$$\mathbf{X}^b = \begin{bmatrix} x_{11}^b & \cdots & x_{1d}^b \\ \cdots & \cdots & \cdots \\ x_{n1}^b & \cdots & x_{nd}^b \end{bmatrix}, \mathbf{X}^e = \begin{bmatrix} x_{11}^e & \cdots & x_{1e}^e \\ \cdots & \cdots & \cdots \\ x_{n1}^e & \cdots & x_{ne}^e \end{bmatrix},$$

d – кількість змінних стану об'єкта,

$$\mathbf{Q}^b = (q_1^b, q_2^b, \dots, q_n^b)^T, \mathbf{Q}^e = (q_1^e, q_2^e, \dots, q_n^e)^T -$$

вектори значень критерію до та після застосування управління,

$$\mathbf{U} = \begin{bmatrix} u_{11} & \cdots & u_{1h} \\ \cdots & \cdots & \cdots \\ u_{n1} & \cdots & u_{nh} \end{bmatrix},$$

h – кількість керуючих змінних.

Будемо далі формувати функціонал і обмеження оптимізаційної задачі таким чином, щоб не вийти за межі класу лінійних по управлінням задач. При цьому, використовуючи (1) будемо моделювати для кожної змінної кінцевого стану x_i^e та критеріальної змінної q^e нелінійні співвідношення – моделі вигляду:

$$x_i^e = \mathbf{f}_i(q^b, \mathbf{x}^b) \cdot \mathbf{u} + f_{0i}(q^b, \mathbf{x}^b) + a_{0i}, i=1, \dots, d, q^e = \mathbf{f}'(q^b, \mathbf{x}^b) \cdot \mathbf{u} + f'_0(q^b, \mathbf{x}^b) + c_0 \quad (2)$$

Тоді можливо записати оптимізаційну задачу в наступному вигляді:

$$\begin{cases} \min_{\mathbf{u}} \mathbf{f}'(q^b, \mathbf{x}^b) \cdot \mathbf{u} + f'_0(q^b, \mathbf{x}^b) + c_0 \\ x_{1\min}^e \leq \mathbf{f}_1(q^b, \mathbf{x}^b) \cdot \mathbf{u} + f_{01}(q^b, \mathbf{x}^b) + a_{01} \leq x_{1\max}^e \\ \dots\dots\dots \\ x_{d\min}^e \leq \mathbf{f}_d(q^b, \mathbf{x}^b) \cdot \mathbf{u} + f_{0d}(q^b, \mathbf{x}^b) + a_{0d} \leq x_{d\max}^e \\ \mathbf{F}_x(q^b, \mathbf{x}^b) \mathbf{x}^e + \mathbf{F}_u(q^b, \mathbf{x}^b) \cdot \mathbf{u} + \mathbf{f}_0^*(q^b, \mathbf{x}^b) + \mathbf{b}_0 \leq 0, \\ \mathbf{u}_{\min} \leq \mathbf{u} \leq \mathbf{u}_{\max} \end{cases} \quad (3)$$

де великою літерою \mathbf{F} позначено відповідні матриці, малою \mathbf{f} - вектори, а f - скалярні функції, $x_{i\min}^e, x_{i\max}^e, i=1, \dots, d, u_{i\min}, u_{i\max}, i=1, \dots, h$ - граничні значення змінних стану та управління, що обмежують допустиму область оптимізаційної задачі.

Оскільки рядки підматриць \mathbf{X}^b та \mathbf{Q}^b відомі нам як стан об'єкта до оптимізації, то, підставляючи конкретні його значення у отримані моделі, ми замість нелінійних членів маємо відповідні константи, що налаштовують моделі на передісторію стану. Сама ж задача оптимізації (3) після такої підстановки приймає лінійний вигляд

$$\begin{cases} \min_{\mathbf{u}} q^e = \min_{\mathbf{u}} \mathbf{c}_u \cdot \mathbf{u} + c' \\ x_{1\min}^e \leq \mathbf{a}_1 \cdot \mathbf{u} + a'_{01} \leq x_{1\max}^e \\ \dots\dots\dots \\ x_{d\min}^e \leq \mathbf{a}_d \cdot \mathbf{u} + a'_{0d} \leq x_{d\max}^e \\ \mathbf{B}_x^e \mathbf{x}^e + \mathbf{B}_u \cdot \mathbf{u} + \mathbf{b}'_0 \leq 0 \\ \mathbf{u}_{\min} \leq \mathbf{u} \leq \mathbf{u}_{\max} \end{cases} \quad (4)$$

Задачі (3, 4) можуть бути використані для прийняття оптимальних рішень в разі достатнього рівня адекватності подання реакцій об'єкта статистичними моделями виду (2).

Задача розрахунку оптимального керуючого впливу може бути приведена до вигляду (4) не тільки за наявності матриці спостережень за одним і тим же об'єктом (1), але і за наявності статистики для множини досить однорідних об'єктів, статистика при цьому може подаватись подібною до (1) матрицею об'єкт-властивості:

$$\mathbf{X} = | \mathbf{X}^b | \mathbf{Q}^b | \mathbf{X}^e | \mathbf{Q}^e | \mathbf{U} |, \quad (5)$$

де вже кожен рядок матриці (5) відповідає окремому об'єкту.

Однорідність розуміється в сенсі можливості подання адекватними статистичними моделями співвідношень (2) за даними матриці об'єкт-властивості (5), де відповідні рядки матриці \mathbf{X} відносяться вже не до різних варіантів переходу одного і того ж об'єкта з різних початкових станів у відповідні кінцеві, а описують перехід з деякого початкового стану в кінцевий для різних об'єктів. У такому випадку для врахування особливостей кожного об'єкту матриця об'єкт-властивості доцільно розширюється за рахунок врахування характерних параметрів об'єктів. Блочна матриця вихідних даних завдання тоді має вигляд:

$$\mathbf{X} = | \mathbf{X}^p | \mathbf{X}^b | \mathbf{Q}^b | \mathbf{X}^e | \mathbf{Q}^e | \mathbf{U} |, \quad (6)$$

де

$$\mathbf{X}^p = \begin{vmatrix} x_{11}^p & \cdots & x_{1g}^p \\ \cdots & \cdots & \cdots \\ x_{n1}^p & \cdots & x_{ng}^p \end{vmatrix} -$$

матриця параметрів пацієнтів, та де кожний її рядок містить g характерних параметрів відповідного об'єкта.

Вигляд задачі оптимізації при цьому практично не змінюється, а у співвідношення (2) додаються члени моделі, пов'язані з характерними параметрами об'єкта:

$$x_i^e = \mathbf{f}_i(\mathbf{x}^p, q^b, \mathbf{x}^b) \cdot \mathbf{u} + f_{0i}(\mathbf{x}^p, q^b, \mathbf{x}^b) + a_{0i}, i=1, \dots, d, \quad (7)$$

$$q^e = \mathbf{f}'(\mathbf{x}^p, q^b, \mathbf{x}^b) \cdot \mathbf{u} + f'_0(\mathbf{x}^p, q^b, \mathbf{x}^b) + c_0. \quad (8)$$

Задача оптимізації при цьому набуває вигляду:

$$\begin{cases} \min \mathbf{f}'(\mathbf{x}^p, q^b, \mathbf{x}^b) \cdot \mathbf{u} + f'_0(\mathbf{x}^p, q^b, \mathbf{x}^b) + c_0 \\ x_{1\min}^e \leq \mathbf{f}_1(\mathbf{x}^p, q^b, \mathbf{x}^b) \cdot \mathbf{u} + f_{01}(\mathbf{x}^p, q^b, \mathbf{x}^b) + a_{01} \leq x_{1\max}^e \\ \dots \\ x_{d\min}^e \leq \mathbf{f}_d(\mathbf{x}^p, q^b, \mathbf{x}^b) \cdot \mathbf{u} + f_{0d}(\mathbf{x}^p, q^b, \mathbf{x}^b) + a_{0d} \leq x_{d\max}^e \\ \mathbf{F}_x(\mathbf{x}^p, q^b, \mathbf{x}^b) \mathbf{x}^e + \mathbf{F}_u(\mathbf{x}^p, q^b, \mathbf{x}^b) \cdot \mathbf{u} + \mathbf{f}_0(\mathbf{x}^p, q^b, \mathbf{x}^b) + \mathbf{b}_0 \leq 0, \\ \mathbf{u}_{\min} \leq \mathbf{u} \leq \mathbf{u}_{\max} \end{cases} \quad (9)$$

За необхідності оптимізаційного розрахунку керуючих впливів для деякого об'єкта, в наявній моделі виду (7), (8) підставляються значення його передісторії (x^b, q^b) та параметри x^p , тим самим ми налаштовуємо систему обмежень та критерій на передісторію і параметри об'єкта, для якого будемо шукатися оптимальне значення керуючих змінних. Задача (9) при цьому приймає лінійний вигляд щодо змінних, що розраховуються, аналогічний (4). Підхід, що ми розглянули, дозволяє формувати частково нелінійні моделі для опису процесів, тим самим збільшуючи точність прогнозу наших моделей і в той же час ми не виходимо з класу ЛПІ задач на етапі оптимізації.

Інтерес до прикладних задач розглянутого вигляду, викликаний тим, що в разі можливості подання реакції біологічного об'єкта у вигляді дискретних моделей типу (7, 8) виникає можливість не тільки оптимізувати процес клінічних випробувань у процесі самого випробування, але і відкривається можливість налаштувань лікарських впливів для конкретного пацієнта з урахуванням його індивідуальних параметрів та стану перед лікуванням.

3. Приклад розрахунку оптимальної стратегії

3.1. Опис даних

В якості прикладу розрахунку було обрано пошук оптимальної лікувальної стратегії (тривалість прийому та дозування препаратів) для пацієнта у післяопераційний період операції аортокоронарного шунтування. База даних налічує 271 змінну-параметр, що характеризують пацієнта, та 129 записів, кожен з яких відповідає окремому пацієнтові. Для зменшення розмірності задачі дослідження з атрибутів бази було відібрано 14 змінних, що демонстрували значиму кореляцію з критеріальною змінною (тривалість життя після операції – x_{18}) та 3-ма змінними стану (x_{19}, x_{20}, x_{21}), кінцеве значення яких принципове для характеристики ефективності проведеного лікування:

x_1 – час спостереження, який пацієнт провів під лікарським наглядом (дні),

x_2 – вік пацієнта ,

x_3 – функціональний клас хворого на серцеву недостатність,

x_4 – кінцевий систолічний об'єм при госпіталізації пацієнта,

x_5 – кінцевий систолічний розмір при госпіталізації пацієнта,

x_6 – кількість коарктованих артерій,

x_7 – відсоток життєздатних тканин міокарду,

x_8 – частка солей молочної кислоти у крові пацієнта при госпіталізації,

x_9 – індекс опору легеневих судин,

x_{10} (x_1^b) – систолічний тиск при госпіталізації,

x_{11} (x_2^b) – СГКК: сатурація гемоглобіну змішаної венозної крові киснем при госпіталізації,

x_{12} (x_3^b) – коефіцієнт утилізації кисню при госпіталізації,

x_{13} – кількість аортокоронарних шунтів, що були імплантовані пацієнтові під час операції,

x_{14} (u_1) – час прийому препаратів після операції (дні),

x_{15} (u_2) – доза препарату А,

x_{16} (u_3) – доза препарату В,

x_{17} (u_4) – доза препарату С,

x_{18} (q^e) – тривалість життя після операції та подальшого лікування (місяці),

x_{19} (x_1^e) – систолічний тиск після операції та лікування,

x_{20} (x_2^e) – сатурація гемоглобіну змішаної венозної крові киснем після операції та подальшого лікування,

x_{21} (x_3^e) – коефіцієнт утилізації кисню після операції та подальшого лікування.

Таким чином, складові блочної матриці X мають вигляд:

$X^p = (x_1, \dots, x_9, x_{13}), X^b = (x_{10}, x_{11}, x_{12})$ – підматриця параметрів та станів до застосування управління,

$\mathbf{X}^e = (\mathbf{x}_{19}, \mathbf{x}_{20}, \mathbf{x}_{21})$ – підматриця станів після застосування управління,
 \mathbf{x}_{18} – вектор значень критеріальної змінної q після лікування,
 $\mathbf{U} = (\mathbf{x}_{14}, \dots, \mathbf{x}_{17})$ – підматриця дозувань застосованих лікувальних препаратів.

Задачу розрахунку сформулюємо наступним чином: розрахувати тривалість та оптимальне поєднання доз лікувальних препаратів для конкретного пацієнта, виходячи з отримання максимальної тривалості життя після лікування у допустимій області стану пацієнта.

3.2 Опис результатів моделювання

Використовуючи дані блокової матриці X , отримаємо моделі прогнозу кінцевого стану об'єкту від параметрів, початкових станів та управлінь у вигляді (7,8). Для цього використаємо одну з версій модифікованого алгоритму МГУА з комбінаторної селекцією і ортогоналізацією змінних [10].

В результаті розрахунку було одержано наступні моделі:

$$\begin{aligned} x_{18} = & -27,379 - 153,064 \frac{x_3}{x_1} + 1,045 \cdot x_{11} + 5,808 \cdot x_3 x_3 - 12,132 \cdot x_2 + 24,445 \cdot u_1 \frac{x_{11}}{x_{12}} + 0,489 \\ & \cdot u_2 x_{11} x_{11} - 0,796 \cdot u_3 \frac{x_{12}}{x_1} - 12,295 \cdot u_3 \frac{1}{x_4 x_{11}} + 0,529 \cdot u_4 \frac{x_3}{x_{12}} \end{aligned}$$

Для помилки нормованої відносної середньоквадратичної помилки (НВСКП) на робочих точках досягнуто значення $\Delta_W = 0,155$

$$\begin{aligned} x_{19} = & 68,654 - 2,066 \cdot x_2 + 14,42 \cdot \frac{x_3}{x_{10}} + 9,015 \cdot \frac{x_{12}}{x_{10}} + 1,982 \cdot x_{13} - 4,231 \cdot \frac{x_{12}}{x_4} - 0,246 \cdot x_3 x_{11} \\ & + 12,615 \cdot u_1 \frac{x_{11}}{x_1} - 0,056 \cdot u_2 \frac{x_4}{x_1} - 0,002 \cdot u_3 x_1 x_{11} - 0,0007 \cdot u_4 \frac{x_3}{x_1} \end{aligned}$$

НВСКП на робочих точках $\Delta_W = 0,341$.

$$\begin{aligned} x_{20} = & 0,805 - 0,033 \cdot x_2 + 0,065 \cdot \frac{x_3}{x_{10}} - 0,001 \cdot x_{10} + 0,006 \cdot x_{13} + 0,0005 \cdot u_1 \frac{x_{12}}{x_1} - 0,0001 \cdot \\ & \cdot u_2 \frac{x_4}{x_{12}} - 0,0004 \cdot u_3 \frac{x_{11}}{x_4} - 0,0001 \cdot u_4 \frac{x_3}{x_1} \end{aligned}$$

НВСКП на робочих точках $\Delta_W = 0,379$.

$$x_{21} = 12.987 - 12.3 \cdot \frac{x_3}{x_{10}} + 3.179 \cdot x_2 + 0.148 \cdot x_{10} - 0.782 \cdot x_{13} + 5.668 \cdot \frac{x_1}{x_{10}} + 0.118 \cdot x_3 x_{11} - \\ - 0.035 \cdot u_1 \frac{x_1}{x_{10}} + 0.01 \cdot u_2 \frac{x_4}{x_{12}} + 0.034 \cdot u_3 \frac{x_1}{x_4} - 0.002 \cdot u_4$$

НВСКП на робочих точках $\Delta_w = 0.355$.

3.3. Формальний запис оптимізаційної задачі

Запишемо формальну постановку оптимізаційної задачі, ґрунтуючись на моделях, що отримано.

Для формування обмежень встановимо границі для змінних стану після застосування лікувальних впливів $64 \leq x_{19} \leq 120$, $0.2 \leq x_{20} \leq 1$, $21 \leq x_{21} \leq 50$, та управління $0 \leq x_{14}$, $0 \leq x_{15} \leq 300$, $0 \leq x_{16} \leq 200$, $0 \leq x_{17} \leq 250$.

З урахуванням виразів знайдених моделей запишемо оптимізаційну задачу типу (9):

$$\max_u x_{18} = \max_u - 27,379 - 153,064 \cdot \frac{x_3}{x_1} + 1.045 \cdot x_{11} + 5.808 \cdot x_3 x_3 - 12.132 \cdot x_2 + \\ + 24.445 \cdot u_1 \frac{x_{11}}{x_{12}} + 0.489 \cdot u_2 x_{11} x_{11} - 0.796 \cdot u_3 \frac{x_{12}}{x_1} - 12.295 \cdot u_3 \frac{1}{x_4 x_{11}} + 0.529 \cdot u_4 \frac{x_3}{x_{12}} \\ 60 \leq 68,654 - 2,066 \cdot x_2 + 14.42 \cdot \frac{x_3}{x_{10}} + 9.015 \cdot \frac{x_{12}}{x_{10}} + 1.982 \cdot x_{13} - 4.231 \cdot \frac{x_{12}}{x_4} \cdot \\ \cdot x_3 x_{11} + 12.615 \cdot u_1 \frac{x_{11}}{x_1} - 0.056 \cdot u_2 \frac{x_4}{x_1} - 0.002 \cdot u_3 x_1 x_{11} - 0.0007 \cdot u_4 \frac{x_3}{x_1} \leq 120 \\ 0.5 \leq 0.805 - 0.033 \cdot x_2 + 0.065 \cdot \frac{x_3}{x_{10}} - 0.001 \cdot x_{10} + 0.006 \cdot x_{13} + 0.0005 \cdot u_1 \frac{x_{12}}{x_1} - 0.0001 \cdot \\ \cdot u_2 \frac{x_4}{x_{12}} - 0.0004 \cdot u_3 \frac{x_{11}}{x_4} - 0.0001 \cdot u_4 \frac{x_3}{x_1} \leq 1 \\ 21 \leq 12.987 - 12.3 \cdot \frac{x_3}{x_{10}} + 3.179 \cdot x_2 + 0.148 \cdot x_{10} - 0.782 \cdot x_{13} + 5.668 \cdot \frac{x_1}{x_{10}} + 0.118 \cdot x_3 x_{11} \\ - 0.035 \cdot u_1 \frac{x_1}{x_{10}} + 0.01 \cdot u_2 \frac{x_4}{x_{12}} + 0.034 \cdot u_3 \frac{x_1}{x_4} - 0.002 \cdot u_4 \leq 50$$

Далі перетворимо її до окремого вигляду типу (4), налаштованого на конкретний об'єкт. Для цього підставимо в задачу наступні параметри та почат-

кові умови пацієнта: час спостереження $x_1 = 32$, $x_2 = 36$, $x_3 = 4$, $x_4 = 183,3$, $x_5 = 6.1$, $x_6 = 3$, $x_7 = 86$, $x_8 = 2,4$, $x_9 = 750.61$, $x_{10} = 72$, $x_{11} = 0.64$, $x_{12} = 36$, $x_{13} = 3$.

Налаштована на пацієнта оптимізаційна задача приймає вигляд:

$$\max_u x_{18} = \max_u -75,23 + 0,434 \cdot u_1 + 0,2002 \cdot u_2 - 0,462 \cdot u_3 + 0,0424 \cdot u_4$$

$$60 \leq 61,608 + 0,13 \cdot u_1 - 0,16 \cdot u_2 - 0,079 \cdot u_3 - 0,00406 \cdot u_4 \leq 120$$

$$0,5 \leq 0,83 + 0,00029 \cdot u_1 - 0,0094 \cdot u_2 - 0,00015 \cdot u_3 - 0,000058 \cdot u_4 \leq 1,$$

$$21 \leq 14,43 - 0,0301 \cdot u_1 + 0,0509 \cdot u_2 + 0,0115 \cdot u_3 - 0,002 \cdot u_4 \leq 50.$$

3.4. Результати розрахунку

Для розв'язання задач, що формуються у вигляді (9) та вирішуються у вигляді (4) було розроблено програмну систему, що за суттєво-математичним формалізмом задачі формує структуру даних, необхідну для розв'язання задачі оптимізації бібліотечним програмним інструментом. Система дозволяє оперативно корегувати моделі, обмеження задачі та досліджувати одержані рішення.

Результати розв'язання задачі, сформованої у п. 3.3, задовольняють встановленим обмеженням, розраховано оптимальні значення для змінної критерію, змінних управління та стану пацієнта: тривалість життя 52.3 місяці, систолічний тиск на момент закінчення прийому лікувальних препаратів 84, сатурація гемоглобіну 1, утилізація кисню 30.1. Режим прийому ліків: тривалість прийому препаратів 100 днів, доза препарату А – 32 од., препарату С – 240 од.

Одержані результати мають застосовуватись тільки за наявності експертних оцінок лікаря, вони демонструють лише можливість розрахунку персоналізованої лікувальної стратегії за умови розробки адекватних моделей стану пацієнта.

4. Висновки

В роботі формалізовано задачу розрахунку персоналізованих лікувальних стратегій, що оптимізують прогноз стану пацієнта. Обґрунтовано застосування класу задач оптимізації, лінійних за керуючими впливам та нелінійних за параметрами і початковими умовами стану пацієнта. Вказано умови, за яких коректно застосовувати запропоновані оптимізаційні моделі. Розглянуто приклад розрахунку оптимальної стратегії застосування лікувальних препаратів у період після операції аорто-коронарного шунтування. Розроблена програмна система дозволяє зручно переходити від суттєво-математичної форми задачі до струк-

тури сформованих даних для програмного інструмента розв'язання задачі оптимізації.

Література

1. Richard M. Van Slyke, Mathematical programming and optimal control theory, University of California, Berkeley, 1968. 136 pages.
2. Optimal Control by Mathematical Programming. Tabak, Daniel; Kuo, Benjamin C. Prentice Hall, 1971. 237 pages.
3. Betts, J. T. (2010). Practical Methods for Optimal Control Using Nonlinear Programming (2nd ed.). Philadelphia, Pennsylvania: SIAM Press.
4. Rosen II, Lane RG, Morrill SM, Belli JA. Treatment plan optimization using linear programming. Medical Physics. 1991 Mar-Apr; 18(2):141-52. DOI: 10.1118/1.596700
5. Selim S. Hacisalihzade, Mohamed Mansour, Solution of the multiple dosing problem using linear programming International Journal of Bio-Medical Computing, Volume 17, Issue 1, July 1985, Pages 57-67.
6. Crown W, Buyukkaramikli N, Sir MY et al. Application of Constrained Optimization Methods in Health Services Research: Report 2 of the ISPOR Optimization Methods Emerging Good Practices Task Force. Value Health 2018; 21 (9):1019 – 1028.
7. Clinical Trials (Second Edition) Chapter 2 - Clinical Trial Design, Study Design, Endpoints and Biomarkers, Drug Safety, and FDA and ICH Guidelines, 2016, pp. 31-68.
8. Порушення функції центральної нервової системи після операцій зі штучним кровообігом у пацієнтів з низькою фракцією викиду лівого шлуночка. Аналіз клінічного досвіду. І. М. Кузьмич, Б. М. Тодуров, О. О. Тарабрін, І. В. Чухліб, О. В. Зеленчук, А. П. Занько. Клінічна анестезіологія та інтенсивна терапія. 2015. № 2. С. 82-90.
9. Ивахненко А.Г., Степашко В.С. Помехоустойчивость моделирования. Киев: Наук. думка. 1985. 216 с.
10. Ванін В.В., Павлов О.В. Розробка та застосування алгоритмів самоорганізації для моделювання складних процесів та об'єктів, що відображаються точковим каркасом // Праці Таврійської державної агротехнічної академії. Вип.4, Том 24, Мелітополь, 2004. Вип.4, Том 24. - С.51-56.

АВТОРИ ВИПУСКУ

Артеменко Віктор Борисович, к.е.н., доцент, Львівський торговельно-економічний унів-т, доцент кафедри комп'ютерних наук

Артишук Ірина Володимирівна, к.е.н., доцент, Львівський торговельно-економічний універ-т, доцент каф. комп'ютерних наук, м.Львів, Україна

Вісікірський Володимир Анатолійович, к.т.н., с.н.с., МННЦ ІТС НАН та МОН України, м. Київ

Волощук Роман Васильович, м.н.с., МННЦ ІТС НАН та МОН України, м. Київ

Гудзовата Оксана Олегівна, к.е.н., доцент, Львівський торговельно-економічний унів-т, доцент кафедри комп'ютерних наук

Давидько Олександр Богданович, магістр, НТУУ «КПІ» ім. І. Сікорського, м. Київ, Україна

Дяк Андрій Ігорович, студент, НТУУ «КПІ» ім. І. Сікорського, м. Київ, Україна

Зосімов В'ячеслав Валерійович, к.т.н., доцент каф. прикл. мат-ки та інформ. комп. технологій, Миколаївський нац. університет ім. В.О.Сухомлинського, Україна

Кружнова Світлана Юріївна, ст. викладач каф.механіки, Запорізький нац. технічний унів-т (ЗНТУ), м. Запоріжжя, Україна

Мороз Ольга Григорівна, м.н.с., МННЦ ІТС НАН та МОН України, м. Київ

Носовець Олена Костянтинівна, к.т.н., доцент, доцент каф. біомедицинської кібернетики, НТУУ «КПІ» ім. І. Сікорського, м. Київ, Україна

Павлов Володимир Анатолійович, к.т.н., доцент, доцент каф. біомедицинської кібернетики, НТУУ «КПІ» ім. І. Сікорського, м. Київ, Україна

Ревунова Олена Георгіївна, к.т.н., МННЦ ІТС НАН та МОН України, м. Київ

Степашко Володимир Семенович, д.т.н., професор, зав. відділом інформ. технологій індуктивного моделювання, МННЦ ІТС НАН та МОН України, м. Київ

Фурсина А.Д., к.т.н., доцент каф.механіки, Запорізький нац. технічний унів-т (ЗНТУ), м. Запоріжжя, Україна

Шапошник Ольга Генадіївна, студент, НТУУ «КПІ» ім. І. Сікорського, м. Київ

Якимчук Вікторія Сергіївна, к.т.н., доцент, НТУУ «КПІ» ім. І. Сікорського, м. Київ, Україна

Відповідальні за випуск: Савченко Є.А.
Піднебесна Г.А.

Випуск видано за сприяння науково-технічного підприємства «Геосфера»

Підписано до друку 30.12.2018 р.
Формат 60x84^{1/16}. Ум. друк. арк. 7,5. Наклад 100 прим.